



TUGAS AKHIR TF 141581

***HAZARD AND OPERABILITY STUDY (HAZOP)
DAN PENENTUAN SAFETY INTEGRITY LEVEL
(SIL) PADA BOILER SB-02 PT. SMART Tbk
SURABAYA***

Trisca Vimalasari
NRP 2412 100 011

Dosen Pembimbing
Dr.Ir. Ali Musyafa', M.Sc.

JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT TF-141581

**HAZARD AND OPERABILITY STUDY (HAZOP)
AND SAFETY INTEGRITY LEVEL (SIL)
DETERMINATION IN BOILER SB-02 PT.SMART
Tbk SURABAYA**

Trisca Vimalasari
NRP 2412 100 011

Supervisor
Dr.Ir. Ali Musyafa', M.Sc.

DEPARTEMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

***HAZARD AND OPERABILITY STUDY (HAZOP)
DAN PENENTUAN SAFETY INTEGRITY LEVEL (SIL)
PADA BOILER SB-02 PT. SMART Tbk SURABAYA***

**TUGAS AKHIR
OLEH**

**TRISCA VIMALASARI
NRP. 2412 100 011**

Surabaya, 14 Januari 2016

**Mengetahui,
Dosen Pembimbing**

**Dr. Ir. Ali Musyafa', MSc
NIP. 19600901 198701 1 001**

**Menyetujui,
Ketua Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS**



**Agus Muhammad Hatta, ST, MSi, Ph. D
NIPN. 19780902 200312 1 002**

**HAZARD AND OPERABILITY STUDY (HAZOP) DAN
PENENTUAN SAFETY INTEGRITY LEVEL (SIL) PADA
BOILER SB-02 PT. SMART Tbk SURABAYA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada
Bidang Studi Instrumentasi
Program Studi S-1 Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

TRISCA VIMALASARI

NRP. 2412 100 011

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Ir. Ali Musyafa', MSc(Pembimbing)
2. Dr. Bambang L. Widjiantoro, ST, MT.....(Ketua Penguji)
3. Totok Ruki Biyanto, ST, MT, PhD(Penguji 1)
4. Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, MSc(Penguji 2)
5. Murry Raditya, ST, MT(Penguji 3)

**SURABAYA
JANUARI, 2016**

HAZARD AND OPERABILITY STUDY (HAZOP) DAN PENENTUAN SAFETY INTEGRITY LEVEL (SIL) PADA BOILER SB-02 PT. SMART Tbk SURABAYA

Nama : Trisca Vimalasari
NRP : 2412100011
Jurusan : Teknik Fisika FTI ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Ali Musyafa', Msc

Abstrak

Seiring dengan perkembangan dunia industri dan jaminan perlindungan terhadap keselamatan pekerja dan lingkungan, maka diperlukan studi mengenai *hazard* pada suatu lingkungan kerja. Keselamatan merupakan faktor terpenting dalam suatu perusahaan. Perusahaan dikatakan berhasil apabila dapat melindungi pekerjaannya dari kecelakaan kerja namun tetap menghasilkan produksi yang besar. PT. SMART Tbk merupakan salah satu perusahaan pemasok minyak goreng terbesar di Indonesia. Dalam proses PT.SMART Tbk *boiler* merupakan salah satu *equipment* yang memiliki risiko paling tinggi. Analisis bahaya dalam penelitian ini menggunakan metode *HAZOP*. *Node* yang dipakai dalam *boiler* terdapat node ruang bakar dan *steam drum boiler*. Berdasarkan hasil yang diperoleh, instrument yang mempunyai risiko *high risk* adalah transmitter LT-1401 pada node *steam drum boiler*. Untuk perhitungan *SIL* dari *boiler* berasal dari *BPCS* yang terdiri dari *transmitter*, *logic solver*, dan *final control element*. Nilai *PFD average* yang diperoleh adalah 0.029 yang berarti *NO SIL*. Untuk itu perlu ditingkatkan *SIL* dengan menambah jumlah *transmitter* LT-1401 yang dipasang secara *redundant*. Hasil konfigurasi ini menghasilkan nilai *PFD* 0,007 yang berarti *SIL* meningkat menjadi kategori *SIL* 1. Untuk menurunkan risiko yang terjadi pada *boiler* adalah dengan menambahkan *SIS* di luar *BPCS* dengan pertimbangan keamanan, dilakukan perawatan kalibrasi secara rutin serta *test* kinerja *sensor*, *transmitter* dan *final control element* setiap satu bulan sekali.

Kata Kunci : *BPCS, HAZOP, SIL*

HAZARD AND OPERABILITY STUDY (HAZOP) DAN PENENTUAN SAFETY INTEGRITY LEVEL (SIL) AT BOILER SB-02 PT. SMART Tbk SURABAYA

Name : Trisca Vimalasari
NRP : 2412100011
Departmen : Teknik Fisika FTI ITS
Advisor : Dr. Ir. Ali Musyafa', Msc

Abstract

Along with the development of the industry and guarantee the protection of worker safety and the environment, it is necessary to study the hazard in a work environment. Safety is the most important factor in a company. The company is successful if it can protect workers from workplace accidents but still produce a large production. PT. SMART Tbk is one of the largest suppliers of cooking oil in Indonesia. In the process PT.SMART Tbk equipment, boiler is one that has the highest risk. Hazard analysis in this study using HAZOP method. Nodes are the nodes used in the boiler combustion chamber and boiler drum. Based on the results obtained, the instrument has a high risk is the risk of transmitter LT-1401 on the boiler steam drum node. For SIL calculation of boilers come from BPCS consisting of transmitter, logic solver, and final control elements. PFD average value obtained was 0.029, which means NO SIL. For the SIL needs to be improved by increasing the number of transmitter LT-1401 with redundant instalation. This configuration results PFD 0.007 generate significant value increase to category SIL 1. To reduce the risk of that happening in the boiler is to add SIS outside BPCS with security considerations, performed routine maintenance calibration and performance test sensors, transmitters and final control element of each one month.

Keywords : BPCS, HAZOP, SIL

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas berkat, rahmat dan kebesaran-Nya sehingga saya selaku penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir Teknik Fisika ITS. Pada tugas akhir ini diambil *judul* **HAZARD AND OPERABILITY STUDY (HAZOP) DAN PENENTUAN SAFETY INTEGRITY LEVEL (SIL) PADA BOILER SB-02 PT. SMART Tbk SURABAYA**

Selama menyelesaikan Tugas Akhir ini penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS.
2. Bapak Dr. Ir. Ali Musyafa', MSc selaku pembimbing tugas akhir penulis sekaligus dosen wali penulis.
3. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Fisika yang telah memberikan ilmu dan motivasi selama kuliah
4. Bapak Muslikan Fauzi selaku operator *boiler* yang banyak membantu penulis saat melakukan kunjungan ke PT.SMART Tbk dan mengambil data.
5. Ibu Tika selaku HRD PT.SMART Tbk yang telah membantu penulis untuk memperoleh izin mengambil data di PT.SMART Tbk
6. Sutrisno Subandi dan Musyamah Kalsum selaku kedua orang tua penulis dan Moch. Ridwan Nuur adik dari penulis yang senantiasa memberikan motivasi, dukungan, dan do'a
7. Teman-teman Laboratorium Pengukuran Fisis, Yulia, Aulia, Wahani, Lufi, Okky, Siti, Santi, Ajeng, Maya yang senantiasa mendukung dan membantu penulis
8. Teman-teman seperjuangan dalam mengerjakan Tugas Akhir bidang minat Instrumentasi, Amarendra, Rizky, Rinanda Dwi Purnama, Angela Indirarosi, dan Anis Sulanjari
9. Niela, Febriani, Ersu, Mila, Sabrina, Havi, Giska, Chusnul, Isna, Eky, Anis, dan Yayan yang selalu memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis saat mengerjakan Tugas Akhir

10. Teman-teman angkatan 2012 yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna.. Oleh karena itu sangat diharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sehingga mencapai sesuatu yang lebih baik lagi. Penulis juga berharap semoga laporan ini dapat menambah wawasan dan bermanfaat bagi pembacanya.

Surabaya, 07 Januari 2016

Penulis.

DAFTAR ISI

| | |
|---|---------------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| LEMBAR PENGESAHAN | iii |
| ABSTRAK | v |
| ABSTRACT | vi |
| KATA PENGANTAR | vii |
| DAFTAR ISI | ix |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL | xii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Permasalahan..... | 2 |
| 1.3 Tujuan..... | 3 |
| 1.4 Batasan Masalah..... | 3 |
| 1.5 Manfaat..... | 3 |
| 1.4 Sistematika Laporan..... | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 <i>Boiler</i> | 5 |
| 2.2 <i>Hazard and Operability Study (HAZOP)</i> | 7 |
| 2.3 Metode HAZOP | 8 |
| 2.4 <i>Konsep HAZOP</i> | 8 |
| 2.5 <i>Control Chart Xbar-s</i> | 12 |
| 2.6 <i>Basic Process Control System (BPCS)</i> | 13 |
| 2.6 <i>Safety Integrity Level (SIL)</i> | 14 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | 17 |
| 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian..... | 17 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAH | 25 |
| 4.1 Alur Proses Pembentukan Uap..... | 25 |
| 4.2 Analisis Potensi Bahaya..... | 27 |
| 4.3 Analisis Risiko | 27 |
| 4.4 Perhitungan <i>Safety Integrity Level</i> | 45 |
| 4.5 Peningkatan Nilai SIL | 47 |

| | |
|---------------------|----|
| 4.6 Pembahasan..... | 48 |
|---------------------|----|

BAB V PENUTUP

| | |
|---------------------|----|
| 5.1 Kesimpulan..... | 51 |
|---------------------|----|

| | |
|----------------|----|
| 5.2 Saran..... | 51 |
|----------------|----|

| | |
|----------------------------|-----------|
| DAFTAR PUSTAKA..... | 53 |
|----------------------------|-----------|

LAMPIRAN A *Worksheet HAZOP*

LAMPIRAN B Perhitungan SIL

LAMPIRAN C Validasi Data

LAMPIRAN D Data Maintenance

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|--------------------|--|----|
| Gambar 2.1 | <i>Fire Tube Boiler</i> | 6 |
| Gambar 2.2 | Bentuk dasar <i>Control Chart</i> | 12 |
| Gambar 2.3 | <i>BPCS System</i> | 13 |
| Gambar 3.1 | <i>Flowchart Penelitian</i> | 17 |
| Gambar 3.2 | <i>Flowchart HAZOP</i> | 21 |
| Gambar 4.1 | <i>Process Flow Diagram Coal Boiler</i> | 25 |
| Gambar 4.2 | <i>DCS Screen Boiler</i> | 27 |
| Gambar 4.3 | Node Ruang Bakar | 29 |
| Gambar 4.4 | <i>Grafik X bar Coal Proximity LH Stoker</i> | 30 |
| Gambar 4.5 | <i>Grafik X bar Coal Proximity RH Stoker</i> | 31 |
| Gambar 4.6 | <i>Grafik X bar Motor LH FD Fan</i> | 32 |
| Gambar 4.7 | <i>Grafik X bar Motor RH FD Fan</i> | 32 |
| Gambar 4.8 | Node <i>Steam Drum</i> | 37 |
| Gambar 4.9 | <i>Grafik X bar Chart PT-1401</i> | 38 |
| Gambar 4.10 | <i>Grafik X bar Chart LT-1401</i> | 39 |
| Gambar 4.11 | <i>Grafik X bar Chart FE-1401</i> | 40 |
| Gambar 4.12 | <i>Grafik X bar Chart O2 Analyzer</i> | 41 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Spesifikasi <i>Coal Fired Boiler</i> PT SMART Tbk | 6 |
| Tabel 2.2 <i>Tabel Consequences (The Standard Australia/ New Zealand (AS/NZS 4360:2004)</i> | 10 |
| Tabel 2.3 <i>Tabel Likelihood (The Standard Australia/ New Zealand (AS/NZS 4360:2004)</i> | 11 |
| Tabel 2.4 <i>Tabel Risk Matrix (The Standard Australia/ New Zealand (AS/NZS 4360:2004)</i> | 11 |
| Tabel 2.5 Kriteria Penentuan SIL | 14 |
| Tabel 4.1 <i>Tabel Risk Matrix (The Standard Australia/ New Zealand (AS/NZS 4360:2004)</i> | 28 |
| Tabel 4.2 <i>Guide Word</i> dan Deviasi pada Node Ruang Bakar..... | 33 |
| Tabel 4.3 Kriteria <i>Likelihood</i> Komponen Pada Ruang Bakar | 34 |
| Tabel 4.4 Kriteria <i>Consequences</i> Komponen Node Ruang Bakar | 35 |
| Tabel 4. 5 <i>Risk Matrix</i> Komponen Pada Node Ruang Bakar | 36 |
| Tabel 4. 6 <i>Guide Word</i> dan Deviasi Komponen Drum <i>Boiler</i> | 41 |
| Tabel 4. 7 Kriteria <i>Likelihood</i> Komponen Drum <i>Boiler</i> | 42 |
| Tabel 4. 8 Kriteria <i>Consequences</i> Komponen Drum Boile | 43 |
| Tabel 4. 9 <i>Risk Matrix</i> Komponen Drum <i>Boiler</i> | 44 |
| Tabel 4. 10 Perhitungan <i>SIL</i> | 45 |
| Tabel 4. 11 Peningkatan Nilai <i>SIL</i> | 47 |

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. SMART (Sinarmas Agrobusiness and Technology) Tbk merupakan salah satu bagian dari *Sinarmas Group* dan merupakan salah satu perusahaan pemasok minyak goreng dan *margarine* di seluruh Indonesia dan beberapa negara lain. Salah satunya plant yang berlokasi di kawasan Rungkut Industri Surabaya. Pada plant ini dilakukan banyak proses, mulai dari proses distribusi CPO (*Crude Palm Oil*) hingga proses mengubah CPO menjadi *olein* dan *stearin* yang pada akhirnya akan diproses ulang menjadi minyak goreng dan *margarine* yang siap digunakan oleh konsumen.

Salah satu bagian terpenting dari proses produksi adalah *boiler*. *Boiler* merupakan komponen yang digunakan untuk mengubah air menjadi uap dengan adanya proses pemanasan.[1] Uap panas atau steam inilah yang digunakan untuk memasak kelapa sawit sebagai bahan baku utama minyak dan *margarine*. *Boiler* yang digunakan adalah jenis *coal boiler* yang berada pada area *refinery plant*.

Boiler merupakan sistem yang bekerja pada temperatur dan tekanan yang tinggi serta bekerja penuh selama 24 jam. Dalam proses pembentukan uap diperlukan beberapa peralatan diantaranya, ruang bakar atau *burner*, *deaerator*, *economizer*, *feed water pump*, dan *steam drum boiler* itu sendiri. Tekanan pada *boiler* dijaga antara 13-15 bar dan bekerja pada temperatur 150-200°C. Karena bekerja pada tekanan dan temperature yang tinggi serta diikuti dengan proses pembakaran yang terus menerus menjadikan *boiler* adalah salah satu komponen yang mempunyai risiko tinggi atau *high risk equipment*. Sudah banyak diantaranya kecelakaan kerja yang disebabkan karena *boiler* yang meledak sehingga merenggut nyawa pekerja dan menyebabkan kerugian materi serta kerusakan lingkungan di sekitarnya. Salah satu contoh peristiwa *boiler* meledak adalah ledakan *boiler* di PLTU Kanci Kabupaten Cirebon yang menyebabkan empat orang

pingsan serta sebagian rumah di sekitar area ledakan yang mengalami kerusakan.[2]

Sebagai komponen yang berisiko besar mengalami kegagalan, maka harus diterapkan *safety* yang tepat pada utilitas *boiler* ini. *Safety* menjadi hal terpenting dalam setiap proses, karena setiap tahun banyak pekerja meninggal dunia karena adanya kecelakaan di lingkungan kerja akibat kurangnya sistem *safety* yang diterapkan. Selain kerugian bagi pekerja, kecelakaan juga menimbulkan kerugian ekonomi. Oleh karena itu, *safety system* sangat diperlukan untuk diterapkan pada komponen dan instrument yang ada di *boiler*. Salah satunya adalah *boiler* yang ada di PT.SMART Tbk guna mengantisipasi dan mempersiapkan tindakan *preventive* untuk menghindari adanya ledakan pada *boiler*.

Berdasarkan alasan tersebut, maka terlebih dahulu perlu dilakukan analisis bahaya pada unit *boiler* dengan menggunakan metode *Hazard and Operability Study (HAZOP)* guna mengetahui kemungkinan terjadinya bahaya pada unit *boiler*. Selain itu menentukan tingkat bahaya dari unit *boiler* menggunakan perhitungan *Safety Integrity Level (SIL)* sehingga bisa mengetahui tingkat keamanan dari *boiler* tersebut. Dari permasalahan yang ada, maka peneliti mengambil judul tugas akhir yaitu “*Hazard and Operability Study (HAZOP)* dan Penentuan *Safety Integrity Level (SIL)* pada *Boiler SB-02 PT SMART Tbk Surabaya*”.

1.2 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan yang dihadapi dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. bagaimana cara menganalisis bahaya yang terjadi pada *boiler* di PT.SMART Tbk menggunakan metode *Hazard and Operability Study (HAZOP)*
2. bagaimana cara menentukan tingkat *safety* unit *boiler* di PT.SMART Tbk menggunakan perhitungan *Safety Integrity Level (SIL)*
3. bagaimana rekomendasi untuk meningkatkan *safety* pada unit *boiler* di PT.SMART Tbk
- 4.

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. melakukan analisis bahaya yang terjadi pada *boiler* di PT.SMART Tbk menggunakan metode *Hazard and Operability Study (HAZOP)*
2. menentukan tingkat *safety* unit *boiler* di PT.SMART Tbk menggunakan perhitungan *Safety Integrity Level (SIL)*
3. memberikan rekomendasi meningkatkan *safety* bahaya pada unit *boiler* di PT.SMART Tbk

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang diambil dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. plant yang digunakan adalah *Steam Boiler* 02 pada PT.SMART Tbk
2. analisis bahaya pada *boiler* menggunakan metode *HAZOP*
3. menentukan tingkat bahaya unit *boiler* menggunakan perhitungan *SIL*
4. analisis bahaya yang dilakukan adalah analisis bahaya pada *transmitter* dan *final control element*
5. data yang diambil adalah data *Process Flow Diagram (PFD)*, *Piping and Instrument Diagram (PID)*, data *maintenance*, data proses

1.5 Manfaat

Manfaat dari tugas akhir ini adalah sebagai bahan pertimbangan bagi PT.SMART Tbk, khususnya bagi operator *boiler* untuk menjalankan sistem *safety* yang lebih baik serta memberikan rekomendasi sehingga kemungkinan adanya bahaya pada komponen *boiler* dapat dikurangi.

1.6 Sistematika Laporan

Pada tugas akhir ini penulisannya secara sistematis dan terbagi menjadi lima bab yaitu sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang landasan teori yang berkaitan dengan topik tugas akhir yang terdiri dari proses pembentukan uap pada *boiler*, *HAZOP*, dan *SIL*

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan mengenai langkah-langkah pengerjaan dari awal hingga tugas akhir selesai dilaksanakan.

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang evaluasi pengolahan data membuat *worksheet HAZOP*, menghitung nilai *SIL*, serta memberikan rekomendasi untuk peningkatan *SIL*

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan serta saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB II DASAR TEORI

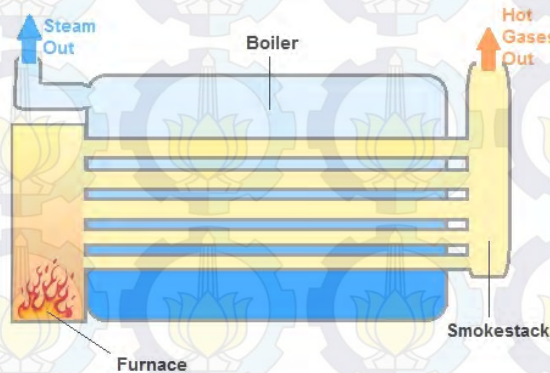
2.1 Boiler

Boiler merupakan berjana tertutup yang berfungsi untuk memproduksi memproduksi uap dengan mengubah fasa dari cair ke gas melalui proses pemanasan. Uap yang dihasilkan *boiler* inilah yang selanjutnya digunakan untuk berbagai mavproses. Proses pemanasan yang terjadi dilakukan oleh berbagai macam keperluan, seperti untuk turbin uap, pemasakan, mesin uap dan yang lain sebagainya. Bahan bakar yang digunakan untuk *boiler* ini adalah batu bara, sehingga *boiler* dikenal dengan *coal fired boiler*. Komponen-komponen utama *boiler* terdiri dari *steam drum*, *water drum*, *feed hopper*, *stoker*, *deaerator*, *safety valve*, *sight glass*, *FD fan*, *ID fan*, *grit arrestor*, *blow down*, *forced*, dan *stack*. Unit *boiler* SB-02 merupakan *boiler* yang digunakan untuk memproduksi steam yang berfungsi untuk memasak *Crued Palm Oil* (CPO) atau minyak sawit mentah yang merupakan bahan baku utama minyak goreng dan *margarine*. Bagian-bagian dalam *boiler* adalah:

- *Feed Hopper* : merupakan tempat penampungan batu bara ditempatkan lebih tinggi dari *boiler* agar batubara dapat mengalir turun menuju ke *stoker*
- *Economizer* : peralatan pada sistem *boiler* yang digunakan untuk pemanasan awal air dari *Boiler Feed Water Pump* sebelum masuk siklus pembakaran. *Economizer* ini berguna untuk meningkatkan efisiensi *boiler*
- *Steam drum* : peralatan dalam sistem *boiler* yang berfungsi untuk tempat pemisahan fase uap dengan air
- *Stoker* : terdiri dari sejumlah mata rantai pengangkut batu bara yang disambung menjadi satu dan dipasang di ruang bakar *boiler*
- *Fire tube* : pipa baja panjang yang terdapat gas panas untuk memanaskan air di sekitarnya

- *Furnace* : ruangan yang digunakan untuk memanasi pipa ketel (*water wall*) sehingga air akan berubah menjadi uap.

Unit *boiler* yang beroperasi di PT. SMART Tbk adalah *boiler* dengan tipe *packaged fire tube boiler*. *Packaged fire tube boiler* merupakan jenis *boiler* package yang memiliki ruang pembakaran terintegrasi dan gas panas dari pembakaran melalui serangkaian pipa api yang dikelilingi oleh air guna menghasilkan uap. Uap akan berkumpul pada bagian atas ruang boiler dikarenakan fase uap lebih ringan dibandingkan dengan fasa cair. Ilustrasi dari *fire tube boiler* dapat dilihat pada gambar 2.1[3]



Gambar 2.1 *Fire Tube Boiler*[4]

Packaged fire tube boiler yang digunakan pada PT.SMART Tbk mempunyai spesifikasi yang ditunjukkan pada tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Spesifikasi *Coal Fired Boiler* PT.SMART Tbk

| | |
|-------------------------------|-----------|
| Model Number | TU 2100 |
| Serial Number | 74405 |
| Operating Pressure | 16 Bar |
| Max.Allowable/Design Pressure | 17.25 Bar |

| | |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| Safety Valve Set Pressure | 29.20 Bar |
| Operating Pressure | 204 °C |
| Max.Allowable/Design Temperature | 208 °C |
| Manufactured by | John Thompson a division of ACTOM |

2.2 Hazard And Operability Study (HAZOP)

Hazard and Operability Study (HAZOP) adalah sebuah teknik kualitatif untuk mengidentifikasi kemungkinan potensi bahaya yang akan terjadi menggunakan serangkaian kata-kata panduan atau *guide words*. HAZOP dapat digunakan secara praktis untuk berbagai tahapan proses. Selain itu, dapat pula digunakan untuk peralatan baru maupun peralatan yang telah terpasang sebelumnya serta dapat digunakan untuk semua waktu. Penggunaannya juga lebih luas, selain identifikasi dilakukan terhadap mesin dan atau komponen yang akan dianalisis, metode ini juga dapat digunakan untuk menentukan prosedur dan instruksi suatu operasi, sehingga kegagalan yang berasal dari faktor manusia dapat diidentifikasi.

Tujuan dari adanya metode HAZOP adalah untuk meninjau suatu proses atau operasi pada suatu sistem secara sistematis, dan untuk mengetahui apakah kemungkinan-kemungkinan adanya penyimpangan dapat mendorong sistem menuju kecelakaan yang tidak diinginkan atau tidak. Dalam melakukan HAZOP pada suatu industri lama, terdapat dokumen-dokumen yang diperlukan, antara lain: *Process Flow Diagram (PFD)*

- *Process & Instrumentation Diagram (P&ID)*
- *Data Maintenance*
- *Operating Instructions*
- *Procedure documents/Description of operation*
- Dokumen lain yang relevan

Pengerjaan HAZOP menggunakan serangkaian kata-kata panduan untuk mengidentifikasi penyimpangan yang terjadi dan konsekuensi apa yang akan ditimbulkannya. [5]

2.3 Metode HAZOP

Langkah-langkah dalam identifikasi bahaya menggunakan metode HAZOP adalah sebagai berikut :

- Menentukan titik studi (*study note*) berdasarkan data P&ID yang telah didapatkan. Node ditentukan berdasarkan kompoen utama sistem *boiler*
- Pada setiap titik tersebut, ditentukan komponen-komponen yang mengatur semua proses serta komponen *safety* yang ikut mendukung proses. Penentuan komponen ini didasarkan pada komponen-komponen yang terdapat pada P&ID *boiler*
- Menentukan *guide word* dengan menggunakan *control chart* berdasarkan data proses, kemudian dilihat grafik data yang terbentuk pada *control chart* tersebut untuk mengetahui deviasi
- Melakukan analisis penyebab terjadinya penyimpangan dan akibat yang ditimbulkannya, serta *safeguard* yang dimiliki oleh sistem dalam satu titik studi tersebut.
- Menganalisis kriteria *likelihood*, *severity*, dan *risk matrix*.

2.4 Konsep HAZOP

Beberapa istilah atau terminologi (*key words*) yang banyak dipakai dalam melaksanakan analisis HAZOP antara lain sebagai berikut:

- *Study Node* (Titik Studi) : adalah titik studi yang ditentukan berdasarkan P&ID dan akan dianalisis berdasarkan penyimpangan yang ada. *Node* ini berguna untuk menguraikan dan mempelajari suatu bagian proses.
- *Guide word* : adalah kata-kata yang digunakan untuk menentukan adanya penyimpangan. *Guide word* diterapkan pada setiap variable proses pada setiap node.
- *Deviation* (Penyimpangan) : adalah kata kunci kombinasi yang sedang diterapkan. *Deviation* merupakan gabungan dari *guide word* dan parameter.
- *Cause* (Penyebab) : adalah penyebab terjadinya penyimpangan.

- *Consequence* (Akibat/Konsekuensi) : adalah akibat yang terjadi karena adanya penyimpangan.
- *Safeguards* (Usaha Perlindungan) : adanya perlengkapan pencegahan yang mencegah penyebab atau usaha perlindungan terhadap konsekuensi kerugian. Safeguards juga memberikan informasi pada operator tentang penyimpangan yang terjadi dan juga untuk memperkecil akibat.
- *Action* (Tindakan). Apabila suatu penyebab dipercaya akan mengakibatkan konsekuensi negatif, harus diputuskan tindakan-tindakan apa yang harus dilakukan. Tindakan dibagi menjadi dua kelompok, yaitu tindakan yang mengurangi atau menghilangkan penyebab dan tindakan yang menghilangkan akibat (konsekuensi). Sedangkan apa yang terlebih dahulu diputuskan, hal ini tidak selalu memungkinkan, terutama ketika berhadapan dengan kerusakan peralatan. Namun, hal pertama yang selalu diusahakan untuk menyingkirkan penyebabnya, dan hanya dibagian mana perlu mengurangi konsekuensi.
- *Severity* atau *consequence*. Merupakan tingkat keparahan yang diperkirakan dapat terjadi.
- *Likelihood* merupakan tingkat keseringan suatu risiko atau bahaya terjadi dalam rentang waktu tertentu.[6]
- *Risk* atau risiko merupakan kombinasi kemungkinan *likelihood* dan *consequences* yang terjadi sesuai persamaan 2.1 berikut ini:

$$Risk = (Consequence) \times (Likelihood) \quad (2.1)$$

Untuk parameter *consequence* menunjukkan tingkat bahaya dampak yang diakibatkan karena adanya risiko penyimpangan dari keadaan yang diinginkan atau operasi yang diluar kendali. Tinjauan yang dilakukan berdasarkan dampak serta pengaruhnya

Berdasarkan *the standard Australia/ New Zealand* (AS/NZS 4360:2004), tingkat *consequences* dapat ditentukan berdasarkan

beberapa tabel kriteria *consequences* seperti ditunjukkan pada Tabel 2.2

Tabel 2. 2 *Tabel Consequences (The Standard Australia/ New Zealand (AS/NZS 4360:2004)*

| <i>Level</i> | <i>Descriptor</i> | <i>Description</i> |
|--------------|----------------------|--|
| 1 | <i>Insignificant</i> | • Sistem beroperasi & aman, terjadi sedikit gangguan tidak berarti |
| 2 | <i>Minor</i> | • Sistem tetap beroperasi & aman, gangguan mengakibatkan sedikit penurunan performansi atau kinerja sistem terganggu |
| 3 | <i>Moderate</i> | • Sistem dapat beroperasi, kegagalan dapat mengakibatkan mesin kehilangan fungsi utamanya dan/ dapat menimbulkan kegagalan produk |
| 4 | <i>Major</i> | • Sistem tidak dapat beroperasi. Kegagalan dapat menyebabkan terjadinya banyak kerusakan fisik & sistem, dapat menimbulkan kegagalan produk, dan/ tidak memenuhi persyaratan peraturan Keselamatan Kerja |
| 5 | <i>Catastrophic</i> | • Sistem tidak layak operasi, keparahan yang sangat tinggi bila kegagalan mempengaruhi sistem yang aman, melanggar peraturan Keselamatan Kerja |

Likelihood merupakan peluang risiko terjadinya bahaya pada komponen. Berdasarkan *the standard Australia/ New Zealand (AS/NZS 4360:2004)*, tingkat *likelihood* dapat ditentukan berdasarkan kriteria seperti pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 *Tabel Likelihood (The Standard Australia/ New Zealand (AS/NZS 4360:2004))*

| Level | Description | Description |
|-------|-----------------------|---|
| A | <i>Almost certain</i> | Risiko terjadi lebih dari 5 kali dalam 5 tahun |
| B | <i>Likely</i> | Risiko terjadi 4-5 kali dalam 5 tahun |
| C | <i>Moderate</i> | Risiko terjadi lebih dari 3 atau kurang dari 4 dalam 5 tahun |
| D | <i>Unlikely</i> | Risiko terjadi 2-3 kali dalam 5 tahun |
| E | <i>Rare</i> | Risiko jarang sekali muncul /terjadi kurang dari 2 kali dalam 5 tahun |

Berdasarkan Persamaan (2.1), nilai risiko merupakan hasil perkalian dari *likelihood* dan *consequences*, sehingga akan diperoleh matriks kriteria risiko seperti pada Tabel 2.4 di bawah ini.

Tabel 2. 4 *Tabel Risk Matrix (The Standard Australia/ New Zealand (AS/NZS 4360:2004))*

| <i>Likelihood</i> | <i>Consequences</i> | | | | |
|--------------------|---------------------|-------|----------|-------|--------------|
| | Insignificant | Minor | Moderate | Major | Catastrophic |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| A (Almost certain) | H | H | E | E | E |
| B (Likely) | M | H | H | E | E |
| C (Moderate) | L | M | H | E | E |
| D (Unlikely) | L | L | M | H | E |
| E (Rare) | L | L | M | H | H |

Keterangan :

E = *Extreme risk*
 H = *High risk*
 M = *Moderate risk*
 L = *Low risk*

2.5 Control Chart \bar{x} -s

Control Chart merupakan grafik statistik yang digunakan menggambarkan batas kendali dari suatu proses terdiri dari batas atas, batas bawah dan batas terpusat (*center*). *Control chart* menunjukkan apakah suatu proses berada di *in* atau *out of control*. Berikut adalah salah satu contoh *control chart*:



Gambar 2. 2 Bentuk dasar control chart

Persamaan control chart \bar{x} dipengaruhi oleh nilai tengah standar deviasi (s), untuk mencari persamaan UCL, CL, dan LCL dapat menggunakan acuan Tables of Constant for Control Charts dengan persamaan : [7]

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_3 \bar{s} \quad (2.2)$$

$$CL = \bar{\bar{x}} \quad (2.3)$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_3 \bar{s} \quad (2.4)$$

Dimana:

$\bar{\bar{x}}$ = rata-rata dari mean (\bar{x})

\bar{s} = rata-rata dari standar deviasi (s)

$A_3 = 0.619$

Nilai A_3 sebesar 0.619 ini diperoleh dari tabel dengan rentan waktu perhitungan selama 24 jam. Untuk menentukan nilai *control chart* s dapat menggunakan persamaan :

$$UCL = B_4.s \quad (2.5)$$

$$CL = \bar{s} \quad (2.6)$$

$$LCL = B_3.s \quad (2.7)$$

Dimana :

\bar{s} = rata-rata dari standar deviasi (s)

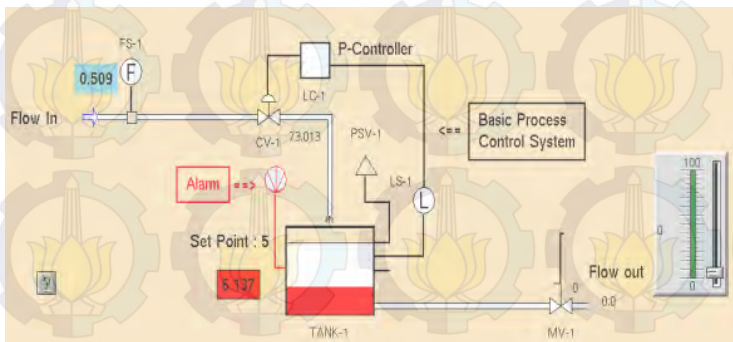
$B_4 = 1.445$

$B_3 = 0.555$

Grafik *control chart* s digunakan untuk melihat trend data selama 24 jam, guna mengetahui apakah proses yang ditinjau banyak mengalami perbedaan data yang jauh atau tidak.

2.6 Basic Process Control System (BPCS)

Basic Process Control System bertanggung jawab untuk pengoperasian normal dari *plant*. BPCS digunakan pada lapisan pertama perlindungan *plant* apabila terdapat kondisi tidak aman. Apabila BPCS gagal, maka alarm akan berbunyi dan membutuhkan operator untuk mengembalikan ke kondisi normal. Apabila BPCS tidak berhasil dalam menangani masalah keamanan, maka proses pengamanan *plant* akan menuju perlindungan selanjutnya yaitu berupa *Safety Integrated System (SIS)*. [8]



Gambar 2. 3 BPCS System [9]

Pada keterangan gambar 2.3 di atas, dijelaskan suatu sistem pengendalian level air pada tanki dengan *set point* sebesar 5 meter. BPCS berusaha untuk menjaga level air di bawah 5 meter, apabila level air naik di atas 5 meter, maka alarm akan menyala dan operator akan bertugas mengembalikan ke kondisi normal.

2.7 Safety Integrity Level (SIL)

Setelah dilakukan analisa dari risiko yang ditimbulkan oleh *equipment* dengan menggunakan *hazard and operability study* (HAZOP) didapatkan beberapa risiko yang berpotensi terjadi. Pada dasarnya resiko dapat ditinjau melalui dua aspek yaitu kemungkinan kejadian tersebut terjadi dan konsekuensi yang diterima apabila kejadian tersebut terjadi. Pada berbagai kasus dari kegagalan sistem, probabilitas dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan matematis. Jika nilai tersebut tidak dapat diketahui maka *hazard* harus dianalisa secara kualitatif.

Pada dasarnya setiap industri memiliki standar sistem proteksi yang berbeda – beda. Standar ini merupakan hal yang sangat penting karena menyangkut kehandalan dari suatu system terinstrumentasi. Standar sistem proteksi tidak hanya meliputi teknologi yang digunakan, tingkat redundansi, kalibrasi ataupun logika sistem. Ketika *risk level* yang dihadapi semakin besar maka diperlukan sistem proteksi yang lebih baik untuk mengendalikannya. *Risk* yang telah dihitung selanjutnya akan dibandingkan dengan performansi pada suatu sistem proteksi. Salah satu metode yang digunakan untuk menentukan performansi sistem tersebut adalah *safety integrity level* (SIL) (Gulland,2004).[10]

Safety integrity Level (SIL) merupakan tingkat keamanan dari suatu komponen *instrument* yang terkonfigurasi dengan *safety instrumented system* (SIS). Seperti *sensor*, *logic solver*, dan *final element*. Untuk dapat menentukan nilai SIL dari suatu komponen maka terlebih dahulu mengetahui nilai laju kegagalan yang kemudian dapat digunakan untuk menentukan nilai *Probability of Failure on Demand* (PFD) [11] Berikut ini merupakan pengklasifikasian SIL berdasarkan nilai *PFD* yang diperoleh berdasarkan standar IEC 615108.

Tabel 2. 5 Kriteria Penentuan SIL[12]

| Safety Integrity Level | Probability of Failure on Demand | Risk Reduction Factor |
|------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| 4 | 0,0001 – 0,00001 | 100.000-10.000 |

| | | |
|---|----------------|-------------|
| 3 | 0,001 – 0,0001 | 10.000-1000 |
| 2 | 0,01 – 0,001 | 1000-100 |
| 1 | 0,1 – 0,01 | 100-10 |

Dari tabel di atas dapat dikatakan semakin tinggi tingkatan SIL yang dimiliki suatu *plant* maka tingkat keamanan dari *plant* tersebut juga semakin baik dan resiko terjadinya kegagalan juga semakin kecil.

Safety integrity level (SIL) ditentukan dengan menghitung probabilitas suatu kegagalan akan terjadi dengan menggunakan persamaan:

$$\lambda = 1/MTTF \quad (2.8)$$

Dimana :

λ = *failure rate* (laju kegagalan)
 MTTF = Mean Time To Failure

Setelah diketahui nilai *failure rate* maka menentukan nilai *Probability Failure Demand*, *Probability of Failure on Demand* (PFD) dihitung berdasarkan persamaan :

$$PFD = 1/2 \cdot \lambda \cdot T_i \quad (2.9)$$

Dimana:

PFD = *Probability of Failure on Demand*
 λ = *failure rate* (/jam)
 T_i = *test interval* (jam)

Setelah ditentukan nilai *PFD* dihitung *PFD average* dengan cara menjumlahkan *PFD* untuk *sensor*, *transmitter* dan *final control element*

$$PFD_{avg} = PFD_{sensor} + PFD_{transmitter} + PFD_{fce} \quad (2.10)$$

Langkah terakhir adalah mencocokkan nilai *PFD average* dengan kriteria SIL pada tabel 2.4.

Dari *PFD* selanjutnya dapat diketahui nilai *risk reduction factor* (RRF). Risk reduction factor merupakan tingkat penurunan risiko suatu equipment mengalami kegagalan.

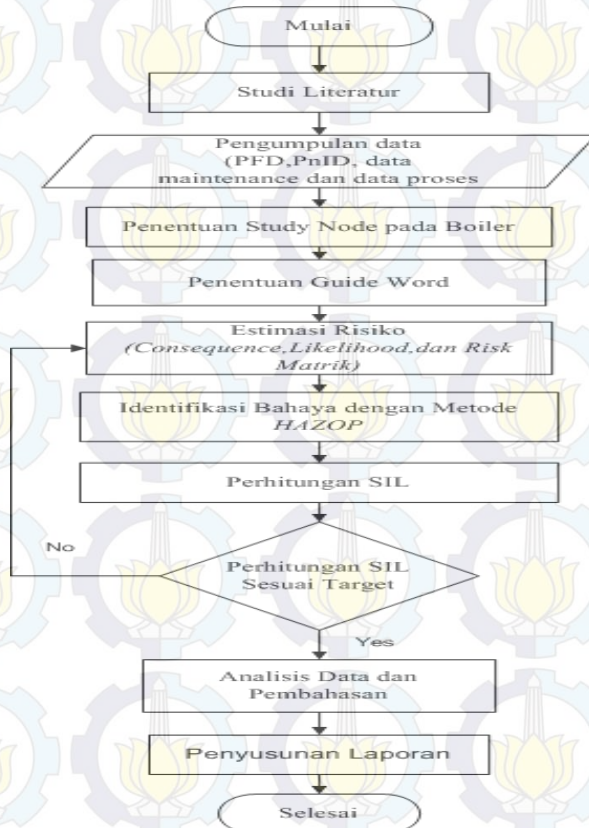
$$RRF = \frac{1}{PFD} \quad (2.11)$$

PFD dipengaruhi oleh laju kegagalan peralatan dan *test interval*, artinya semakin besar laju kegagalan suatu peralatan maka kemungkinan terjadinya *failure* akan semakin besar dan tingkat penurunan resikonya akan semakin kecil. Begitu juga dengan semakin sering suatu peralatan dilakukan *test* maka kemungkinan terjadinya *failure* akan semakin kecil dan tingkat penurunan resikonya semakin besar. Adapun untuk mendapatkan data *failure rate* dapat diperoleh dengan beberapa cara diantaranya adalah *historical data*, yaitu data diperoleh berdasarkan data hasil *maintenance* suatu perusahaan atau *commercial failure rate data*, yaitu data diperoleh dari database *failure rate* seperti salah satunya adalah OREDA (*Offshore Reliability Data*)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

1.1 *Flowchart* Penelitian

Penelitian pada tugas akhir ini dirancang pada beberapa tahapan, yang digambarkan pada diagram alir seperti pada gambar 3.1 berikut. Tahapan tersebut meliputi beberapa hal diantaranya



Gambar 3. 1 *Flowchart* Penelitian

Penjelasan langkah setiap *flowchart* adalah sebagai berikut :

a. Studi Literatur

Dilakukan studi literatur mengenai *boiler*. Bahan-bahan serta semua referensi yang berkaitan tentang *boiler* di PT. SMART Tbk dapat ditemukan di ruang CCR di area rumah *boiler* dan juga dari referensi jurnal, buku petunjuk penggunaan *boiler*, ataupun referensi dari sumber internet. Studi yang dilakukan mencakup proses kegunaan *boiler* dalam plant PT SMART Tbk dan komponen instrumentasi yang terdapat di *boiler* SB-02 beserta kegunaannya.

b. Pengumpulan Data

Data-data yang diperlukan dalam penyusunan tugas akhir ini antara lain berupa dokumen serta gambar dari proses yang terdapat di *boiler* SB-02 di PT.SMART Tbk. Dokumen tersebut meliputi *process flow diagram (PFD)*, *Piping and Instrumentation Diagram*, data *logsheet* proses selama satu tahun pada tahun 2014, daftar komponen instrumentasi, *maintenance data* atau data *time to failure* dari setiap komponen yang terdapat pada *steam boiler* dimulai tahun 2009 sampai 2015, dan data penjelasan proses pada setiap komponen *boiler*. Data-data inilah yang nantinya digunakan dalam penentuan risiko serta analisis risiko pada masing-masing komponen di *boiler*.

c. Penentuan Study Node pada Boiler

Penentuan *study node* pada boiler ditentukan berdasarkan tingkat keseringan bahaya yang terjadi pada boiler. Pada tugas akhir ini ditentukan dua *study node* yaitu node ruang bakar dan node steam drum. Penentuan *study node* dilihat dari data P&ID boiler. Penentuan *study node* juga diikuti dengan penentuan komponen instrumentasi yang berperan dalam proses pada masing-masing node. Misalnya berupa *transmitter*, *final control element*, *logic solver* serta *safety system (alarm, switch dll)* untuk masing-masing besaran yang terukur yaitu: *pressure* dan *level*.

d. Penentuan *Guide Word*

Menentukan *guideword* dari penyimpangan terhadap rata-rata proses yang terjadi. Hal ini dapat diketahui dari data proses yang diambil untuk masing-masing komponen dan menggambar *control chart* kemudian dilihat trend data yang terbentuk pada grafik tersebut untuk mengetahui deviasi. *Control chart* dibentuk dengan menggunakan persamaan di bawah ini.

$$\begin{aligned} UCL &= \mu + (0.619 * \sigma) \\ CL &= \mu \\ LCL &= \mu - (0.619 * \sigma) \end{aligned} \quad (3.1)$$

Nilai 0.619 ini berdasarkan *control chart constant and formula* dengan nilai pengambilan data 24 jam. Penentuan *guide word* menggunakan persamaan 3.1 dihitung berdasarkan data proses yang terekam pada server DCS selama 24 jam, sedangkan untuk komponen yang tidak ada data proses per jam, penentuan nilai *guide word* berdasarkan wawancara dengan kepala operator boiler di perusahaan terkait

e. Estimasi Risiko

Estimasi risiko yang dilakukan mencakup analisis terhadap dua kategori yaitu:

a. *Likelihood*

Likelihood merupakan tingkat keseringan suatu risiko atau bahaya terjadi dalam rentang waktu tertentu. Pada tahap ini digunakan *data maintenance* dari tiap-tiap komponen untuk mengetahui seberapa sering instrument mengalami kegagalan dan dikalsifikasikan pada standar *The Standard Australia/ New Zealand AS/NZS 4360:200*.

b. *Consequences*

Tinjauan *consequences* adalah dari segi tingkat kerusakan komponen, dari segi pengaruhnya pada manusia, atau dari segi biaya yang dikeluarkan akibat adanya bahaya yang telah disebutkan tersebut, serta biaya yang hilang akibat terganggunya

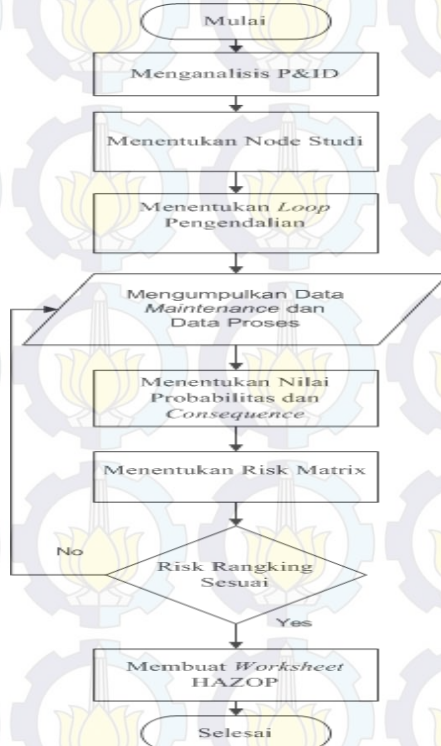
proses produksi. Berdasarkan *the standard Australia/ New Zealand* (AS/NZS 4360:2004), tingkat *consequences* dapat ditentukan berdasarkan kriteria seperti pada Tabel 2.2.

c. Risk Matrix

Risk Matrix merupakan hasil perkalian dari dari *likelihood* dan *consequence*. Penentuan nilai *risk matrix* berdasarkan acuan *Tabel Risk Matrix (The Standard Australia/ New Zealand (AS/NZS 4360:2004))*

f. Identifikasi Bahaya dengan Metode HAZOP

Studi tentang HAZOP terangkum dalam suatu tabel yang biasa dikenal dengan nama *HAZOP Worksheet*. *Worksheet* ini berisi tentang identifikasi peluang bahaya dan penyebab terjadinya bahaya tersebut, analisis risiko, serta rekomendasi. Adapun penjelasan metodologi *HAZOP* akan dijelaskan pada *flowchart HAZOP* pada gambar 3.2. Analisis menggunakan metode *HAZOP* harus sesuai dengan urutan yang sudah ditentukan. Hal ini akan berpengaruh pada rekomendasi yang nantinya akan diberikan ketika selesai melakukan identifikasi bahaya menggunakan metode *HAZOP*.



Gambar 3.2 *Flowchart HAZOP*

Flowchart *HAZOP* merupakan urutan langkah-langkah menganalisis bahaya pada coal fired boiler SB-02. Langkah-langkah yang harus dilakukan secara berurutan diantaranya :

1. Menganalisis P&ID

Dasar dari proses pengerjaan *HAZOP* adalah *Piping and Instrumentation Diagram (P&ID)*. *P&ID* adalah sebuah diagram yang menggambarkan alur atau *flows* sebuah sistem proses yang mencakup jalur pipa, *instrument*, *sensor*, *valve*, *transmitter* dan lain sebagainya. Dalam tugas akhir ini *P&ID* yang digunakan merupakan *P&ID boiler SB-02*.

2. Menentukan Node Studi

Node Studi ini ditentukan berdasarkan bagian-bagian dari *boiler* yang mempunyai peluang bahaya paling besar. Terdapat dua node yang dianalisis pada tugas akhir ini yaitu node ruang bakar dan node *steam drum*.

3. Menentukan Loop Pengendalian

Setelah menentukan node studi, maka ditentukan *loop* pengendalian yang terdapat pada masing-masing node. Pada node *steam drum* terdapat pengendalian *pressure* oleh PT-1401 dan *level* oleh LT-1401.

4. Mengumpulkan Data Maintenance dan Data Proses

Data *maintenance* yang dibutuhkan adalah data *maintenance* dari masing-masing komponen yang berhubungan dengan node masing-masing. Data *maintenance* digunakan untuk menentukan kriteria nilai *likelihood*. Kriteria *likelihood* ini berdasarkan seberapa sering komponen mengalami kegagalan operasi selama kurang waktu lima tahun. Kriteria ini kemudian divalidasi oleh operator boiler sesuai dengan lampiran C. Data proses digunakan untuk membuat *control chart* guna mengetahui penyimpangan data untuk menentukan *guide word* dan deviasi.

5. Menentukan Nilai Probabilitas dan Consequence

Nilai Probabilitas (*likelihood*) dan *consequence* disesuaikan dengan *The Standard Australia/ New Zealand AS/NZS 4360:2004* untuk nilai *consequence* dan *The Standard Australia/ New Zealand AS/NZS 4360:2004* untuk nilai *likelihood*.

6. Menentukan Risk Matrix

Kriteria *risk matrix* diperoleh dari hasil perkalian probability dan *consequence*. Kriteria *risk matrix* disesuaikan dengan *The Standard Australia/ New Zealand (AS/NZS 4360:2004)*

Hasil dari analisis bahaya menggunakan *HAZOP* akan terangkum pada *HAZOP Worksheet*. *HAZOP Worksheet* digunakan untuk mempermudah pembacaan hasil analisis bahaya yang sudah dilakukan. Adapun bentuk *HAZOP Worksheet* seperti pada gambar di bawah.

| GW | Dev. | Causes | Consequence | Safeguards | S | L | R | Rcs | Remarks | Comments |
|----|------|--------|-------------|------------|---|---|---|-----|---------|----------|
| | | | | | | | | | | |

Gambar 3.3 *HAZOP Worksheet*

g. Perhitungan Safety Integrity Level

Analisis *safety integrity level* dilakukan untuk melihat suatu sistem terletak pada tingkat keamanan tertentu. Penentuan nilai SIL berasal dari data *maintenance* tiap *equipment* yang berhubungan dengan BPCS, yang terdiri dari *sensor*, *logic solver*, aktuator. Data *maintenance* ini berguna untuk menentukan nilai MTTF dan laju kegagalan (λ). Nilai *Mean Time To Failure* diperoleh dari rata-rata *Time To Failure (TTF)* sedangkan nilai laju kegagalan diperoleh dari persamaan :

$$\text{failure rate } (\lambda) = \frac{1}{MTTF} \quad (3.2)$$

Kemudian setelah mengetahui laju kegagalan, akan dihitung nilai *PFD* dengan persamaan :

$$PFD = \frac{1}{2} \cdot \lambda \cdot T_i \quad (3.3)$$

Dimana:

PFD = Probability of Failure on Demand
 λ = failure rate (/jam)
 T_i = test interval (jam)

Nilai PFD dihitung berdasarkan masing-masing komponen yang terdiri dari sensor, *logic solver*, dan aktuator. Setelah dihitung nilai PFD untuk masing-masing komponen, nilai PFD tersebut dijumlahkan sesuai dengan persamaan :

$$PFD_{avg} = PFD_{sensor} + PFD_{transmitter} + PFD_{fee} \quad (3.4)$$

Setelah itu dikategorikan nilai SIL sesuai dengan tabel 2.4.

pump. Air dengan suhu sekitar 100°C, kemudian menuju *economizer* untuk dipanaskan kembali sampai suhunya naik sekitar 115°C. Pembakaran yang ada di dalam ruang bakar *boiler* menggunakan batu bara yang dibakar di atas dua *stoker* yaitu LH dan RH. Kedua *stoker* tersebut diatur oleh motor dan terintegrasi dengan DCS yang ada pada CCR. Udara panas yang dihasilkan dari pembakaran batu bara pada LH dan RH *stoker* masuk ke dalam pipa api atau *fire tube* yang berjumlah puluhan guna memanaskan air yang menyelimuti pipa api tersebut. Fase air yang telah menjadi uap memiliki berat yang lebih ringan, sehingga fase uap akan naik ke atas dan berkumpul di *steam drum*. Uap ini dikontrol berdasarkan tekannya. Uap yang dihasilkan *boiler* akan menuju ke *steam header*, 10% dari uap yang dihasilkan akan digunakan untuk memanaskan air yang berada di *deaerator* sedangkan sisanya digunakan untuk proses selanjutnya, yaitu memasak *Crued Palm Oil*. Sisa-sisa pembakaran yang berasal dari pipa api berupa partikel-partikel atau debu yang keluar bersama gas panas akan ditangkap oleh *grit arrester*. Selanjutnya partikel / debu ini keluar melalui *ash rotary valve* ke drum tempat penampungan. Selain *grit arrester*, terdapat juga komponen *ID-fan* pada bagian belakang boiler. *ID-fan* berguna untuk mengisap gas panas dari dalam ruang pembakaran (*furnace*) kemudian menekannya keluar ke cerobong. *ID-fan* ini juga digerakan oleh motor yang dikontrol oleh *inverter*, sehingga besar kecilnya jumlah gas yang diisap ditentukan oleh jumlah putaran motor. Seluruh proses yang terjadi pada *boiler* dikontrol oleh DCS yang berada pada CCR. *Central Control Room* terletak di area rumah boiler dan terdapat sedikitnya tiga operator boiler yang *stanby* dalam satu hari.



Gambar 4. 2 DCS Screen Boiler SB-02

4.2 Analisis Potensi Bahaya

Sesuai dengan pokok bahasan pada tugas akhir ini yaitu analisis pada node *steam drum* dan node ruang bakar pada *coal fired boiler SB-02*. Kedua node inilah yang dianggap mempunyai potensi bahaya yang tinggi dibandingkan dengan komponen boiler yang lain. Dalam melakukan analisis menggunakan data acuan pengolahan data berupa data *logsheet* boiler SB-02 yang dicatat secara manual selama satu tahun pada tahun 2014. Dari data *logsheet* ini diperoleh dari *process database* pada DCS yang dicatat setiap jamnya. Potensi bahaya yang ditimbulkan dapat diketahui berdasarkan trend penyimpangan rata-rata operasi yang ditentukan dengan *guide word* dan dinyatakan dengan deviasi.

4.3 Analisis Risiko

Analisis risiko diperlukan untuk mengetahui kemungkinan bahaya yang terjadi pada dua *node* pada boiler, yaitu pada ruang bakar atau *burner* dan *steam drum* pada boiler. Semua kejadian bahaya dalam jalannya proses memiliki tingkah keparahan (*severity*) dan probabilitas yang berbeda-beda. Perkalian dari *severity* dan probabilitas tersebut

dapat memberikan informasi terkait ranking dari resiko atas bahaya tersebut. Standar yang digunakan pada tugas akhir ini untuk menentukan risk matrix adalah dengan menggunakan standar AS/NZS 4360:2004.

Tabel 4. 1 Tabel *Risk Matrix (The Standard Australia/ New Zealand (AS/NZS 4360:2004)*

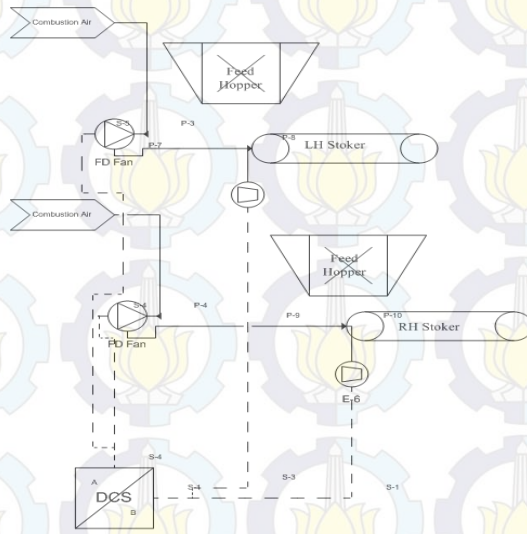
| <i>Likelihood</i> | <i>Consequences</i> | | | | |
|--------------------|---------------------|-------|----------|-------|--------------|
| | Insignificant | Minor | Moderate | Major | Catastrophic |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| A (Almost certain) | H | H | E | E | E |
| B (Likely) | M | H | H | E | E |
| C (Moderate) | L | M | H | E | E |
| D (Unlikely) | L | L | M | H | E |
| E (Rare) | L | L | M | H | H |

Keterangan :

E = *Extreme risk*
H = *High risk*
M = *Moderate risk*
L = *Low risk*

4.3.1 Analisis Potensi Bahaya dan Risiko Node Ruang Bakar

Analisis potensi bahaya pada node ruang bakar dapat dilihat dari gambar P&ID di bawah ini.



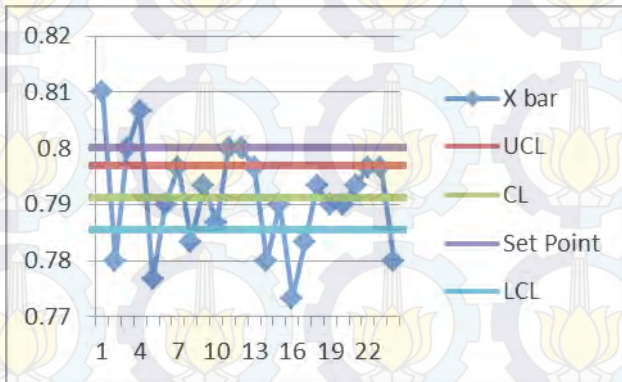
Gambar 4.3 Node Ruang Bakar

Pada ruang bakar boiler SB-02 terdiri dari beberapa bagian, yaitu dua buah *feed hopper*, dua buah *stoker*, dan *FD (forced draft) fan*. *Feed hopper* merupakan tempat penampungan batu bara yang dibawa oleh coal belt conveyor. Biasanya *feed hopper* ini dirancang dengan kapasitas minimal untuk 8 jam pemakaian. Jumlah batu bara dikontrol oleh *limit switch*, sehingga jumlah batu bara tidak sampai habis.

Dari *feed hopper* batu bara menuju ke *stoker*. *Stoker* merupakan mata rantai yang disambung menjadi satu di dalam ruang bakar boiler. *Stoker* ini berfungsi untuk membawa sekaligus menjadi tempat membakar batu bara di atasnya. *Stoker* ini digerakkan oleh sebuah motor dari jenis *variable speed* yang terintegrasi dengan DCS pada CCR. Selama proses pembakaran, membutuhkan udara yang berasal dari *FD fan*. Seperti halnya *stoker*, *FD fan* ini diatur oleh *variable motor speed*.

➤ **Guide word dan Deviasi**

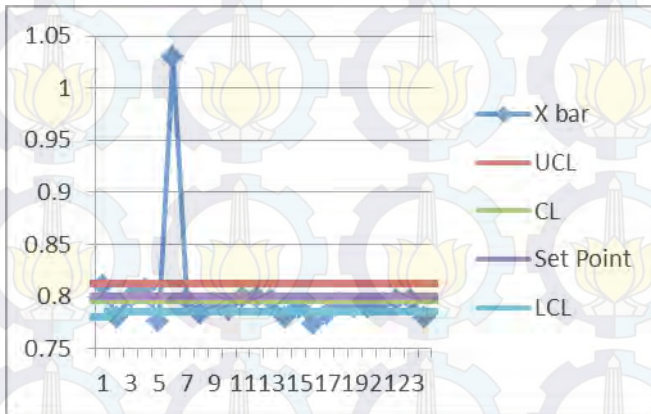
Guide word yang digunakan untuk node ruang bakar ini berdasarkan data proses pemakaian batubara perjam yang dihitung oleh sensor *coal proximity LH stoker* dan *coal proximity RH stoker*. Untuk *guide word* motor *FD fan* diperoleh dari data proses kecepatan motor *FD-fan* setiap jam dalam satuan Hz. Untuk *guide word* motor *LH* dan *RH stoker* diperoleh dari hasil wawancara operator berdasarkan penyimpangan apa yang sering terjadi pada motor *LH* dan *RH stoker*.



Gambar 4. 4 Grafik *X bar Coal Proximity LH Stoker*

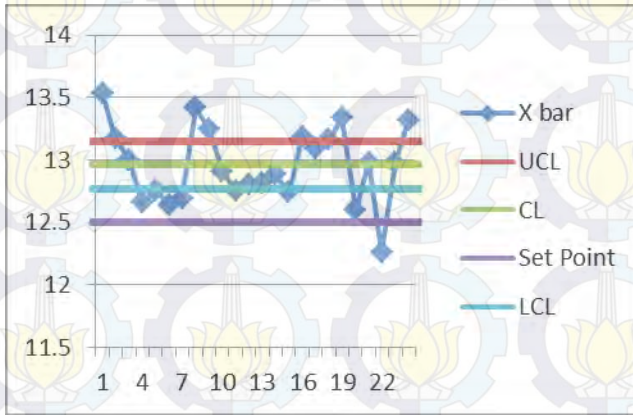
Sesuai dengan *chart* pada gambar 4.4 di atas, nilai *Xbar* atau rata-rata penggunaan batu bara yang tercatat oleh *coal proximity LH stoker* adalah sebesar 0.7911 ton/jam. Nilai batas atas (UCL) adalah 0.7969 ton/jam dan nilai batas bawah (LCL) 0.7853 ton/jam. *Set point* dari *coal proximity LH stoker* adalah sebesar 0.8 ton/jam, sehingga dari data proses yang ditunjukkan terdapat data yang berada di atas *set point* dan sebagian besar data lainnya di bawah *set point*. Sehingga *guide word* yang digunakan adalah *low* dan *high*. Jumlah penggunaan batu bara ini tergantung dari *steam pressure* yang

hendak dicapai. Apabila *steam pressure* menurun, maka penggunaan batu bara juga akan semakin meningkat.



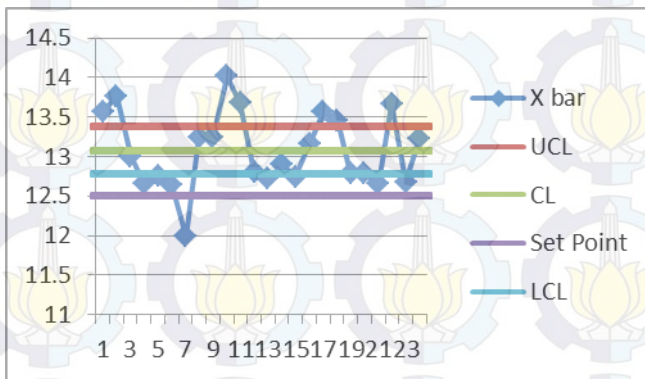
Gambar 4.5 Grafik *X bar Coal Proximity RH Stoker*

Sesuai dengan *chart* pada gambar 4.5 di atas, nilai *Xbar* atau rata-rata penggunaan batu bara yang tercatat oleh *coal proximity RH stoker* adalah sebesar 0.7958 ton/jam. Nilai batas atas (UCL) adalah 0.8117 ton/jam dan nilai batas bawah (LCL) 0.7798 ton/jam. *Set point* dari *coal proximity LH stoker* adalah sebesar 0.8 ton/jam. Dari *chart* di atas didapati terdapat satu data yang mempunyai penyimpangan sangat tinggi, yaitu pada pukul 05.00 penggunaan batu bara mencapai 1.3 ton/jam. Penyimpangan data yang sangat tinggi ini disebabkan karena pengaruh *steam pressure* pada jam tersebut, sehingga *RH Stoker* harus menambahkan jumlah batu bara guna mencapai *steam pressure* sesuai *set point*. Dalam menghitung penggunaan batu bara, sensor *LH stoker* dan *RH stoker* bekerja secara bergantian. Kedua *stoker* ini merupakan *final control element* dari sistem BPCS *plant*. Dimana ketika terjadi penurunan tekanan pada *steam drum*, maka jumlah batu bara yang dibakar akan ditambahkan menyebabkan terjadinya modulasi pada *FD-fan* dan *ID-fan* guna mencapai *set point* tekanan.



Gambar 4. 6 Grafik X bar *Chart Motor LH FD Fan*

Sesuai dengan *chart* pada gambar 4.6 di atas, nilai *Xbar* atau rata-rata kecepatan putaran motor *LH FD-fan* adalah sebesar 12.957 Hz/jam. Nilai batas atas (UCL) sebesar 13.145 Hz/jam dan nilai batas bawah (LCL) sebesar 12.769 Hz/jam. *Set point* yang ditentukan dari kecepatan putar motor *LH FD-fan* ini adalah sebesar 12.5 Hz/jam. Dikarenakan terdapat data yang berada di bawah *set point* maka *guide word* yang digunakan adalah *high* dan *low*.



Gambar 4. 7 Grafik X bar *Chart Motor RH FD Fan*

Sesuai dengan *chart* pada gambar 4.7 di atas, nilai \bar{X} atau rata-rata kecepatan putaran motor *RH FD-fan* adalah sebesar 12.072 Hz/jam. Nilai batas atas (UCL) sebesar 13.37 Hz/jam dan nilai batas bawah (LCL) sebesar 12.774 Hz/jam. *Set point* yang ditentukan dari kecepatan putar motor *RH FD-fan* ini adalah sebesar 12.5 Hz/jam. Dikarenakan terdapat data yang berada di bawah *set point* maka *guide word* yang digunakan adalah *high* dan *low*. Kecepatan putar kedua *FD-fan* baik *LH* mau *RH* disesuaikan dengan jumlah batu bara yang di bakar di atas *stoker* masing-masing, semakin banyak jumlah batu bara maka putaran motor *FD-fan* juga akan semakin cepat karena membutuhkan udara pembakaran yang banyak juga.

Dari keterangan keempat *chart* di atas maka *guide word* yang bisa ditentukan dari node ruang bakar adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 2 *Guide word* dan Deviasi pada Ruang Bakar

| No | Komponen | <i>Guide word</i> | <i>Deviation</i> |
|----|-----------------------------|-------------------|-------------------|
| 1. | Coal Proximity LH Stoker | <i>High</i> | <i>High Load</i> |
| | | <i>Low</i> | <i>Low Load</i> |
| 2. | Motor LH Stoker | <i>High</i> | <i>High Speed</i> |
| | | <i>Low</i> | <i>Low Speed</i> |
| 3. | Motor FD fan LH Stoker | <i>High</i> | <i>High Speed</i> |
| | | <i>Low</i> | <i>Low Speed</i> |
| 4. | Coal Proximity RH Stoker | <i>High</i> | <i>High Load</i> |
| | | <i>Low</i> | <i>Load</i> |
| 5. | Motor RH Stoker | <i>High</i> | <i>High Speed</i> |
| | | <i>Low</i> | <i>Low Speed</i> |
| 6. | Motor FD fan RH Stoker | <i>High</i> | <i>High Speed</i> |
| | | <i>Low</i> | <i>Low Speed</i> |
| 7. | ID-fan | <i>High</i> | <i>High Speed</i> |
| | | <i>Low</i> | <i>Low Speed</i> |

➤ **Estimasi *Likelihood***

Estimasi *likelihood* dilakukan berdasarkan jumlah data *maintenance data* perusahaan. Kriteria *likelihood* berdasarkan standar (AS/NZS 4360:2004) dan klasifikasi kriteria *likelihood* diperoleh dari seberapa sering instrument menyebabkan risiko kegagalan melalui wawancara dengan operator. Berdasarkan data tersebut, *likelihood* untuk komponen pada ruang bakar terdapat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4. 3 Kriteria *Likelihood* Komponen Pada Node Ruang Bakar

| No | Instrument | Kriteria <i>Likelihood</i> |
|----|---------------------------------|----------------------------|
| 1. | <i>Coal Proximity LH Stoker</i> | E |
| 2. | <i>Motor LH Stoker</i> | D |
| 3. | <i>FD-fan LH Stoker</i> | D |
| 4. | <i>Coal Proximity RH Stoker</i> | E |
| 5. | <i>Motor RH Stoker</i> | D |
| 6. | <i>FD-fan RH Stoker</i> | D |
| 7. | <i>ID fan</i> | D |

Dari tabel 4.3 ditunjukkan bahwa *Coal Proximity LH Stoker* dan *Coal Proximity RH Stoker* memiliki kriteria *likelihood* E yang berarti risiko kegagalan jarang sekali terjadi sekitar dua kali dalam 5 tahun. Penentuan kriteria *likelihood* E ini juga berdasarkan data *maintenance* dari kedua sensor berat tersebut selama lima tahun (2010-2015). Pada umumnya sensor dan *transmitter* jarang sekali mengalami kegagalan sehingga *maintenance* yang dilakukan adalah kalibrasi sensor yang dilakukan setiap tahun sekali. Untuk *motor LH stoker* dan *motor RH stoker* merupakan bentuk komponen mekanik yang

berguna untuk menggerakkan *stoker*. Kriteria *likelihood* untuk kedua komponen ini adalah D yang berarti risiko terjadinya kegagalan 2-3 kali dalam 5 tahun, kriteria ini diperoleh dari hasil wawancara dengan operator dan data *maintenance*. Berdasarkan data *maintenance*, rata-rata *maintenance* sebanyak 7 kali dalam 5 tahun, namun yang dilakukan adalah *preventive maintenance* berupa pembersihan dan *service*, dan terdapat satu *maintenance* berupa penggantian rantai baru untuk penggerak *stoker* yang dianggap dapat menyebabkan risiko terjadinya kegagalan kerja motor *stoker*. Untuk *FD-fan* dan *ID-fan* memiliki kriteria *likelihood* D. *FD-fan* dan *ID-fan* dalam lima tahun juga memiliki data *maintenance* yang hanya berupa *preventive maintenance* seperti pembersihan *bearing* dan *service*. Keseluruhan nilai *likelihood* dapat dilihat pada tabel HAZOP lampiran A.

➤ Estimasi *Consequences*

Estimasi *consequences* ini ditentukan berdasarkan seberapa besar konsekuensi yang diakibatkan oleh adanya penyimpangan yang telah diketahui dari data proses, kemudian ditentukan konsekuensi tersebut termasuk dalam kriteria apakah berdasarkan standar AS/NZS 4360:2004. Pengklasifikasian kriteria *consequence* ini diperoleh dari hasil wawancara operator boiler.

Tabel 4. 4 Kriteria *Consequences* Komponen Pada Node Ruang Bakar

| No | Instrument | Kriteria <i>Consequence</i> |
|----|---------------------------------|-----------------------------|
| 1. | <i>Coal Proximity LH Stoker</i> | 3 |
| 2. | <i>Motor LH Stoker</i> | 3 |
| 3. | <i>FD-fan LH Stoker</i> | 3 |
| 4. | <i>Coal Proximity RH Stoker</i> | 3 |

| | | |
|----|-------------------------|---|
| 5. | <i>Motor RH Stoker</i> | 3 |
| 6. | <i>FD-fan RH Stoker</i> | 3 |
| 7. | <i>ID fan</i> | 3 |

Berdasarkan kriteria *consequence* semua komponen yang terdapat pada node ruang bakar berada pada kriteria *consequence* 3. Nilai *consequence* 3 sesuai dengan standar AS/NZS 4360:2004 berarti apabila terjadi kegagalan komponen maka sistem masih tetap dapat beroperasi namun dapat mengakibatkan mesin kehilangan fungsi utama dan menimbulkan kegagalan produk.

➤ **Risk Ranking**

Risiko merupakan hasil perkalian dari *likelihood* dengan *consequences* berdasarkan *risk matrik*. Hasil dari perkalian ini akan mengklasifikasikan semua komponen pada node ruang bakar berada pada tingkat bahaya seberapa. Hasil dari analisis risiko untuk node ruang bakar terdapat pada Tabel 4.5.

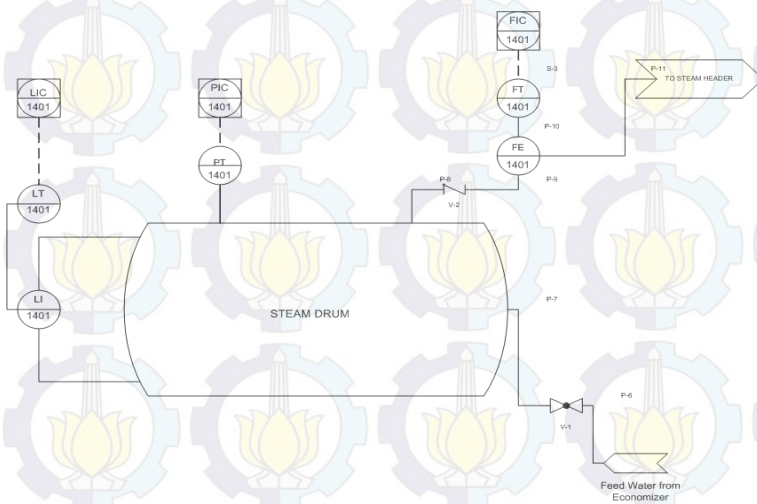
Tabel 4.5 *Risk Matrix* Komponen Pada Node Ruang Bakar

| <i>Likelihood</i> | <i>Consequence</i> | | | | |
|--------------------|--------------------|------------|---------------|------------|-------------------|
| | Insignificant 1 | Minor 2 | Moderate 3 | Major 4 | Catastrophic 5 |
| A (Almost certain) | | | | | |
| B (Likely) | | | | | |
| C (Moderate) | | | | | |
| D (Unlikely) | | | M3 | | |
| E (Rare) | | | M3 | | |

Dari Tabel 4.5, dapat diketahui nilai *risk matrix* yang diperoleh dari perkalian *likelihood* dan *consequence*. Untuk

komponen *Coal Proximity LH Stoker* dan *Coal Proximity RH Stoker* mempunyai kriteria *likelihood E* dan *consequence 3* sehingga dari tabel 4.5 diperoleh *risk ranking moderate risk*. Untuk komponen seperti motor LH dan RH stoker, motor *FD-fan* dan *ID fan* mempunyai kriteria *likelihood D* dan nilai *consequence 3*, sehingga dari tabel 4.5 diperoleh *risk ranking moderate risk*. Berdasarkan data-data dan analisa yang telah dilakukan, maka di dapat tabel HAZOP *worksheet* untuk komponen pada ruang bakar terdapat Lampiran A.

4.2.2 Analisis Potensi Bahaya dan Risiko Node *Steam Drum*



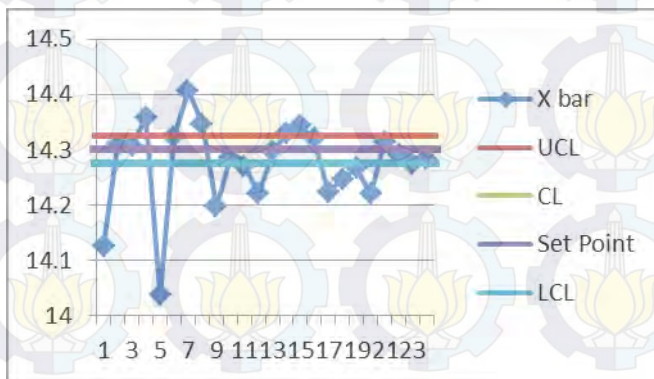
Gambar 4.8 Node *Steam Drum*

Steam drum boiler merupakan bagian utama dari *boiler* itu sendiri. Drum ini terbagi menjadi dua ruang, yaitu satu untuk ruang air pada bagian bawah dan satu untuk fase uap pada bagian atas. Air yang berada di dalam boiler ini berasal dari *economizer*. Pada steam drum boiler ini terdapat 2 *loop*, yaitu

loop pengendalian level oleh LT-1401 dan *loop* pengendalian tekanan oleh PT-1401. Di luar 2 *loop* tersebut terdapat FE-1401 yang berfungsi untuk menghitung laju *steam* atau uap dan O_2 gas analyzer yang berfungsi untuk menghitung kadar O_2 yang tersisa dari hasil pembakaran sebagai parameter terjadinya pembakaran sempurna atau tidak pada boiler.

➤ **Guide word dan Deviasi**

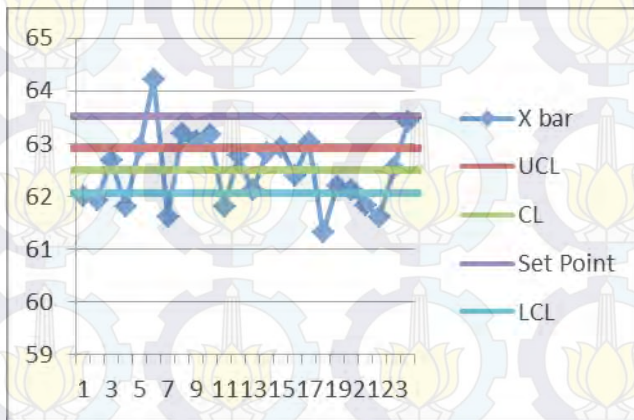
Guide word dari 2 *loop*, pengendalian level dan temperatur diperoleh dari data proses LT-1401 dan PT-1401 yang terekam pada *server DCS*. Untuk *guide word* FT-1401 dan O_2 gas analyzer juga diperoleh dari data proses. Dari data proses tersebut dibuat *Xbar chart* berdasarkan persamaan 2.2 sampai 2.4. Grafik ini berfungsi untuk melihat penyimpangan dari data proses guna menentukan *guide word* dan deviasi. Dan berikut ini merupakan *control chart* untuk PT-1401, LT-1401, FE-1401, dan O_2 gas analyzer.



Gambar 4. 9 Grafik *X bar Chart* PT-1401

Dari gambar 4.9 grafik *X bar Chart* PT-1401, dapat diketahui rata-rata pembacaan PT-1401 adalah 14,274 bar/jam. Untuk nilai batas atas (UCL) sebesar 14.323 bar dan nilai batas bawah (LCL) sebesar 14.274 bar. *Set point* yang terlihat pada *DCS* untuk PT-1401 adalah 14.3 bar. Dari

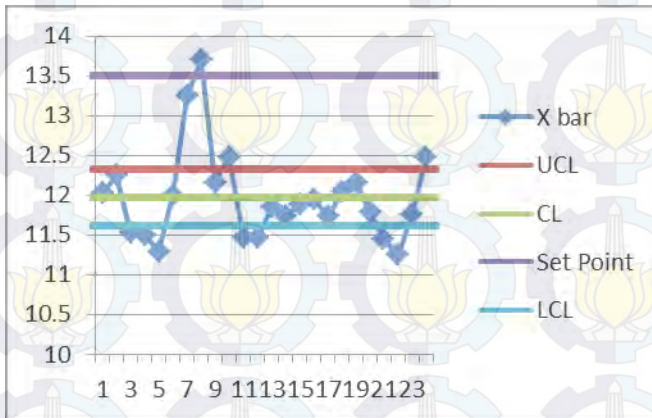
grafik, didapatkan data dengan penyimpangan yang kecil antara satu grafik dengan yang lainnya. Namun, terdapat juga data antara jam 05.00-06.00 yang mempunyai perbedaan cukup jauh, hal ini disebabkan karena adanya jumlah pemakaian batu bara pada jam tersebut. Dari data yang ditunjukkan, terdapat data yang berada di atas dan di bawah *set point* yang ditentukan, namun masih dalam *range* yang dekat dengan *set point*. Guide word yang digunakan adalah *high* dan *low*.



Gambar 4. 10 Grafik *X bar Chart* LT-1401

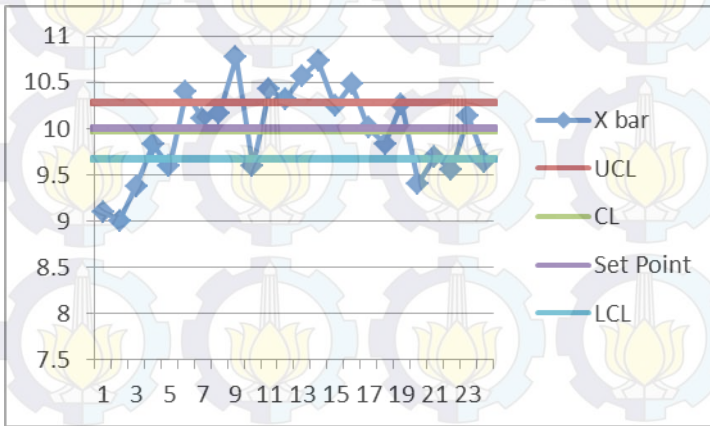
Dari gambar 4.10 grafik *X bar Chart* LT-1401, dapat diketahui rata-rata pembacaan LT-1401 adalah 62.476 %. Untuk nilai batas atas (UCL) sebesar 62.908 % dan nilai batas bawah (LCL) sebesar 62.044 %. *Set point* yang terlihat pada DCS untuk LT-1401 adalah 63.5%. Dari *historical data* LT-1401 berada pada range 60-65 %. Ketika jumlah air menurun maka secara otomatis steam akan menurun juga. Kondisi *low level* merupakan kondisi yang berbahaya, dikarenakan ketika jumlah air menurun drastis maka secara otomatis, *boiler* akan mengalami *shutdown*. Namun, kondisi ini diantisipasi

dengan kinerja *feed water pump*, ketika level dari *tanki* menurun, maka *feed water pump* akan otomatis menyala. Dari data yang ditunjukkan, terdapat data yang berada di atas dan di bawah *set point* yang ditentukan, namun masih dalam *range* yang dekeat dengan *set point*. Guide word yang digunakan adalah *high* dan *low*.



Gambar 4. 11 Grafik *X bar Chart* FE-1401

Dari gambar 4.11 grafik *X bar Chart* FE-1401, dapat diketahui rata-rata pembacaan FE-1401 adalah 11.961 m³/jam. Untuk nilai batas atas (UCL) sebesar 12.325 m³ dan nilai batas bawah (LCL) sebesar 11.607 m³. *Set point* yang terlihat pada DCS untuk LT-1401 adalah 13.5 m³. FE-1401 adalah sensor aliran yang digunakan untuk menghitung *steam* yang dihasilkan untuk kemudia berkumpul pada *steam header*. Dari data yang ditunjukkan, terdapat data yang berada di atas dan di bawah *set point* yang ditentukan, namun masih dalam *range* yang dekeat dengan *set point*. Guide word yang digunakan adalah *high* dan *low*.



Gambar 4. 12 Grafik *X bar Chart* O₂ Analyzer

Dari gambar 4.12 *Xbar Chart* O₂ Analyzer, didapatkan rata-rata pembacaan untuk kadar O₂ dari sisa pembakaran adalah 9.9675 %. Untuk nilai batas atas (UCL) sebesar 10.273 % dan batas bawah (LCL) adalah 9.6619 %. *Set point* untuk O₂ Analyzer adalah sebesar 10 %. Penentuan *set point* ini berdasarkan uji emisi dan toleransi dari perusahaan. Nilai yang ditunjukkan O₂ Analyzer masih berada pada range *set point*, sehingga dapat dikatakan pembakaran pada boiler sempurna.

Dari keterangan keempat *chart* di atas maka *guide word* yang bisa ditentukan dari node ruang bakar adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 6 *Guide word* dan Deviasi Komponen Drum Boiler

| No | Komponen | <i>Guide word</i> | <i>Deviation</i> |
|----|------------------------------|-------------------|------------------|
| 1. | Pressure Transmitter PT-1401 | High | High Pressure |
| | | Low | Low Pressure |
| 2. | Level Transmitter LT-1401 | High | High Level |
| | | Low | Low Level |

| | | | |
|----|-------------------------------|-------------|--------------------|
| 3. | <i>Flow Element FE-1401</i> | <i>High</i> | <i>High Flow</i> |
| | | <i>Low</i> | <i>Low Flow</i> |
| 4. | <i>O₂ Analyzer</i> | <i>High</i> | <i>High Amount</i> |
| | | <i>Low</i> | <i>Low Amount</i> |

➤ *Estimasi Likelihood*

Estimasi *likelihood* dilakukan berdasarkan jumlah data *maintenance data* perusahaan. Kriteria *likelihood* berdasarkan standar (AS/NZS 4360:2004) dan klasifikasi kriteria *likelihood* diperoleh dari seberapa sering instrument menyebabkan risiko dengan wawancara dengan operator. Berdasarkan data tersebut, *likelihood* untuk komponen pada *drum boiler* terdapat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4. 7 Kriteria *Likelihood* Komponen *Steam Drum Boiler*

| No | <i>Instrument</i> | Kriteria <i>Likelihood</i> |
|----|-------------------------|----------------------------|
| 1 | PT-1401 | E |
| 2 | LT-1401 | D |
| 3 | FE-1401 | E |
| 4 | O ₂ Analyzer | E |

Sebagian besar instrument yang terdapat pada *steam drum boiler* adalah berupa sensor dan *transmitter*. Sensor dan *transmitter* sangat jarang sekali mengalami kegagalan dalam proses. Hanya saja perlu untuk kalibrasi tahunan guna mendapatkan pembacaan yang lebih valid dan terkalibrasi. Untuk PT-1401, FE-1401, dan O₂ *Analyzer* termasuk dalam kategori *likelihood* E yang berarti peluang terjadinya risiko kegagalan kurang dari dua kali dalam waktu lima tahun. Sedangkan untuk LT-1401 tergolong dalam kriteria *likelihood*

D. Rata-rata data *maintenance* untuk semua instrumen pada node *steam drum* hanya berjumlah lima kali dan semuanya berupa kalibrasi.

➤ **Estimasi *Consequences***

Estimasi *consequences* ini ditentukan berdasarkan seberapa besar konsekuensi yang diakibatkan oleh adanya penyimpangan yang telah diketahui dari data proses, kemudian ditentukan konsekuensi tersebut termasuk dalam kriteria apakah berdasarkan standar AS/NZS 4360:2004. Pengklasifikasian kriteria *consequence* ini diperoleh dari hasil wawancara operator boiler.

Tabel 4. 8 Kriteria *Consequences* Komponen *Steam Drum Boiler*

| No | <i>Instrument</i> | Kriteria <i>Consequences</i> |
|----|-------------------------|------------------------------|
| 1 | PT-1401 | 3 |
| 2 | LT-1401 | 4 |
| 3 | FE-1401 | 3 |
| 4 | O ₂ Analyzer | 2 |

Dari tabel 4.8, kriteria *consequence* dari masing-masing instrument. *Consequence* adalah tingkat keparahan yang diakibatkan apabila terjadi kegagalan pada instrument tersebut. LT-1401 masuk dalam kriteria paling tinggi yaitu 4 (*major*). Dari hasil wawancara dengan operator *boiler*, pengendalian level air merupakan hal yang paling penting. Ketika jumlah air kurang dari batas bawah *set point* maka secara otomatis *boiler* akan mengalami *shutdown*. Sedangkan untuk tekanan, apabila terjadi tekanan yang berlebih maka *boiler* tidak sampai mati, tekanan yang berlebih akan dibuang oleh dua buah *Pressure Safety Valve (PSV)*. Namun kondisi ini sangat jarang terjadi.

➤ Risk Ranking

Risiko merupakan hasil perkalian dari *likelihood* dengan *consequences* berdasarkan *risk matrik*. Hasil dari perkalian ini akan mengklasifikasikan semua komponen pada node ruang bakar berada pada tingkat bahaya seberapa. Hasil dari analisis risiko untuk node *steam drum* terdapat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Risk Matrix Komponen *Steam Drum Boiler*

| <i>Likelihood</i> | <i>Consequence</i> | | | | |
|--------------------|--------------------|------------|---------------|------------|-------------------|
| | Insignificant 1 | Minor 2 | Moderate 3 | Major 4 | Catastrophic 5 |
| A (Almost certain) | | | | | |
| B (Likely) | | | | | |
| C (Moderate) | | | | | |
| D (Unlikely) | | | | 4D | |
| E (Rare) | | 2E | M3 | | |

Dari Tabel 4.9, dapat diketahui nilai *risk matrix* yang diperoleh dari perkalian *likelihood* dan *consequence*. Untuk LT-1401 kriteria *likelihood* D dan *consequence* 4 sehingga dari tabel 4.9 diperoleh *risk ranking high risk*. *High risk* ini disebabkan karena jumlah air sangat mempengaruhi kerja boiler, jumlah air yang terlalu banyak akan menghasilkan kualitas uap yang buruk karena uap masih mengandung air, sedangkan jumlah air yang terlalu sedikit dapat memicu *boiler* untuk *shutdown*. Untuk PT-1401 dan FE-1401 mempunyai *likelihood* E dan *consequence* 3 sehingga dari tabel 4.9 diperoleh *risk ranking moderate risk*. Sedangkan untuk O₂ Analyzer mempunyai kriteria *likelihood* E dan nilai *consequence* 2 sehingga dari tabel 4.9 diperoleh *risk ranking minor risk*. Kinerja dari O₂ Analyzer tidak seberapa berpengaruh terhadap proses, sensor ini hanya untuk mengetahui kadar oksigen yang tersisa dari hasil pembakaran.

Untuk mengetahui sisa oksigen yang masih ditoleransi maka dilakukan uji emisi sebanyak dua kali setiap tahunnya. Berdasarkan data-data dan analisa yang telah dilakukan, maka di dapat tabel HAZOP *worksheet* untuk komponen pada ruang bakar terdapat Lampiran A.

4.3 Perhitungan *Safety Integrity Level*

Berdasarkan data kegagalan yang terjadi pada masing-masing komponen di *Boiler*, maka dapat ditentukan nilai *Safety Integrity Level* (SIL) untuk mengetahui tingkat keandalan dari suatu sistem dan juga untuk mengetahui nilai *Probability Failure Demand* (PFD). Berdasarkan P&ID boiler SB-02 perhitungan SIL hanya berdasarkan *Basic Process Control System* (BPCS) yang terdiri dari *transmitter*, *logic solver*, dan aktuatur . Perhitungan nilai SIL berdasarkan dari nilai *PFD* sesuai dengan persamaan 3.3.

Transmitter yang dihitung dan dikategorikan masuk ke dalam BPCS adalah PT-1401 dan LT-1401.

Tabel 4. 10 Perhitungan *SIL*

| PERHITUNGAN SAFETY INTEGRITY LEVEL (SIL) | | | | | | | | |
|--|-------------|-----------------|--------------|-----------|---------------------------|-------------|-------------|------------|
| Jenis | Komponen | Komponen | Failure Rate | MTTF | Failure Rate Seri/Paralel | PFD | PFD Average | RRF |
| <i>Transmitter</i> | PT-1401 | PT-1401 | 0.000141403 | 7072 | Seri | 0.050904977 | 0.169745786 | 3.35271441 |
| | LT-1401 | LT-1401 | 0.000142613 | 7012 | Seri | 0.051340559 | | |
| Logic Solver | DCS Siemens | DCS Siemens | 0.0005 | 0 | Seri | 0.18 | | |
| Final Control Element (1oo2) | Aktuator | Motor LH Stoker | 0.000162851 | 6140.5714 | Seri | 0.00458275 | | |
| | | FD | 0.0001 | 6780 | Seri | 0.0037 | | |

| | | | | | | |
|---|----------------------------|-----------------|------|------|-----------------|--|
|) | Fan | 47493 | | | 59104 | |
| | Moto r RH Stoke r | 0.0001 50602 | 6640 | Seri | 0.0039 19292 | |
| | FD Fan | 0.0001 47493 | 6780 | Seri | 0.0037 59104 | |

Dari hasil perhitungan SIL yang berasal dari BPCS, nilai *PF_D* dari PT-1401 dan LT-1401 adalah sebesar 0.050904977 dan 0.051340559. Untuk *final control element* berupa stoker memiliki konfigurasi 1oo2 yang berarti untuk menjalankan proses pembakaran, kedua stoker harus beroperasi keduanya. Untuk satu stoker yang beroperasi kemungkinan bisa, namun hasil yang diperoleh tidak maksimal. Dikarenakan konfigurasi 1oo2, maka *PF_D* dari *final control element* adalah :

$$PF_{D_{1oo2}} = \frac{[(\lambda^{DU})^2 \times TI^2]}{3} \quad (4.1)$$

Dengan :

$PF_{D_{Moon}}$ = Probability Failure on Demand Average

λ^{DU} = Laju kegagalan (*failure rate*)

TI = Interval time / test function (*hour*)

Berdasarkan nilai *PF_D* yang sudah diperoleh, maka *PF_D* akan dijumlahkan dan diperoleh nilai *PF_D* average sebesar 0.169745786, sehingga dapat dikategorikan masuk ke dalam SIL 0. SIL 0 tidak masuk ke dalam klasifikasi penggolongan SIL, sehingga dapat dikatakan bahwa *boiler* ini NO SIL yang berarti sistem pengamannya rendah. Untuk itu perlu ditingkatkan nilai SIL menjadi SIL 1 untuk meningkatkan keamanan *plant*.

4.4 Peningkatan Nilai SIL

Peningkatan nilai SIL dapat dilakukan pada node yang mempunyai kategori *risk matrik high risk*, yaitu LT-1401. *Transmitter* ini terdapat pada node drum boiler dan mempunyai kemungkinan mengalami kegagalan tinggi. Untuk itu, guna memperkecil nilai *PFD*, dengan cara menambahkan jumlah *transmitter* LT dengan pemasangan *redundant*. Perhitungan *PFD* seperti pada persamaan 4.1 dan diperoleh perhitungan seperti pada tabel di bawah ini :

Tabel 4. 11 Peningkatan Nilai *SIL*

| PERHITUNGAN SAFETY INTEGRITY LEVEL (SIL) | | | | | | | |
|--|-------------|-----------------|--------------|-----------|---------------------------|-------------|------------|
| Jenis | Komponen | Komponen | Failure Rate | MTTFs | Failure Rate Seri/Paralel | PFD | RRF |
| Transmitter (1oo2) | PT-1401 | PT-1401 | 0.000141403 | 7072 | Seri | 0.003455089 | 13.4282605 |
| | LT-1401 | LT-1401 | 0.000142613 | 7012 | Seri | 0.003514471 | |
| Logic Solver | PLC Siemens | PLC Siemens | 0.000143 | 0 | Seri | 0.05148 | |
| Final Control Element | Aktuator | Motor LH Stoker | 0.000162851 | 6140.5714 | Seri | 0.00458275 | |
| | | FD Fan | 0.000147493 | 6780 | Seri | 0.003759104 | |
| | | Motor RH Stoker | 0.000150602 | 6640 | Seri | 0.003919292 | |
| | | FD Fan | 0.000147493 | 6780 | Seri | 0.003759104 | |
| PFD AVERAGE | | | | | | 0.07446981 | |
| SIL | | | | | | | 1 |

Dengan menambah jumlah *transmitter* yang berpotensi *high risk* nilai SIL menjadi meningkat menjadi SIL1 dengan nilai *PFD* sebesar 0.07446981 dan nilai *risk reduction factor* sebesar 13.4282605.

4.5 Pembahasan

Berdasarkan hasil dari analisis data di atas, analisis bahaya dengan metode *HAZOP* pada *node* ruang bakar yang terdiri dari komponen *coal proximity LH stoker*, *motor LH stoker*, *motor FD fan LH stoker*, *coal proximity RH stoker*, *motor FD fan LH stoker*, dan *ID fan*. Dari ketujuh komponen yang masuk ke dalam *node* ruang bakar memiliki kategori *moderate risk*. Untuk masing-masing *proximity coal* memiliki nilai *likelihood* dimana dapat diartikan peluang terjadinya kegagalan dalam rentang waktu 5 tahun hanya terjadi dua kali. Hal ini disebabkan karena *coal proximity* adalah sebuah sensor dan sensor dianggap jarang mengalami kegagalan. Untuk bagian *motor stoker* dapat diartikan sebagai sebuah aktuator atau penggerak memiliki kriteria *likelihood* D . Untuk menjaga kinerja dari sistem *motor stoker* sebaiknya dilakukan *preventive maintenance*. Untuk *FD-fan* memiliki fungsi untuk menyerap udara untuk membantu proses pembakaran. *FD-fan* dikontrol oleh sebuah *variable speed motor* yang berhubungan langsung dengan *pressure* pada *drum boiler*. Pada keadaan otomatis , apabila tekanan uap belum mencapai *setting point* maka putaran motor akan tetap pada putaran tertinggi. Dan apabila tekanan uap sudah mencapai *setting point* maka sedikit demi sedikit putaran motor ini akan berkurang sampai dicapai putaran yang seimbang dengan pemakaian uap atau perubahan tekanan. Sebaliknya apabila tekanan uap terus naik sampai melebihi *setting point* maka putaran motor akan turun ke putaran terendah. Kinerja *FD fan* ini sangat bergantung pada motor *FD-fan*. Untuk itu perlu adanya *preventive maintenance* pada motor *FD-fan*. *Impeller FD fan* harus dibersihkan dari kotoran

atau debu yang melekat agar tetap *ballance*. Sehingga *bearing* motor bisa tahan lebih lama.

Untuk node *steam drum* pada *boiler*, instrumen yang paling berisiko adalah LT-1401. *Transmitter* ini mempunyai *risk matrik high*. Jumlah air dan uap harus selalu dimonitoring, apabila perbandingan jumlah air dan bahan bakar tidak seimbang akan menyebabkan *overpressured* dan memicu terjadinya ledakan. Sedangkan untuk FE-1401 berfungsi untuk menghitung laju steam yang dihasilkan memiliki *risk matrik moderate*, yang berarti dapat terjadi gangguan untuk menghitung laju uap, hal ini mempengaruhi produksi uap yang dihasilkan dan akan mempengaruhi produksi uap setiap harinya. Untuk O_2 *gas analyzer* memiliki *risk matrik minor*, yang berarti apabila terjadi kerusakan, sistem masih bisa beroperasi hanya sedikit menyebabkan penurunan performansi karena *analyzer* mengindikasikan pembakaran batu bara sempurna atau tidak dari hasil gas sisa O_2 yang dihasilkan. Pembakaran ini juga berdampak pada biaya penggunaan batu bara.

Untuk perhitungan *safety integrity level*, *boiler* diklasifikasikan ke dalam NO SIL dengan nilai *PDF* sebesar 0.169745786, NO SIL ini dikarenakan perhitungan *SIL* hanya dihitung dari *BPCS* tidak ada *SIS* karena memang dalam sistem *P&ID* tidak terdapat *SIS*. Untuk peningkatan nilai *SIL* dapat dilengkapi dengan penambahan *SIS* namun akan berdampak dengan biaya yang dikeluarkan. Peningkatan nilai *SIL* pada sistem dengan menambahkan jumlah LT-1401 yang dipasang secara *redundant*, dengan hal ini maka nilai *SIL* dapat ditingkatkan menjadi SIL 1 dengan nilai *PDF* sebesar 0.07446981

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa data dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- a. Dari analisis bahaya menggunakan metode *HAZOP* diperoleh level tingkat bahaya dengan kategori *high risk* sebanyak 1, kategori *moderate risk* sebanyak 9, dan *minor risk* sebanyak 1.
- b. Perhitungan nilai SIL yang telah dilakukan pada BPCS dengan perhitungan nilai *PFD* rata-rata sebesar 0. 16974 dan masuk dalam kategori NO SIL , dengan *risk reduction factor* 3.35 masih di bawah 10 yang menunjukkan bahwa keandalan sistem masih rendah.
- c. Peningkatan SIL dari SIL 0 menjadi SIL 1 dengan *PFD* 0.0744 melalui penambahan instalasi LT-1401 yang mempunyai kategori *high risk* dengan instalasi secara *redundant* dan perhitungan menggunakan persamaan pada konfigurasi 1oo2.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berkaitan dengan keamanan sistem *boiler* yaitu :

- a. Untuk meningkatkan SIL pada *boiler*, sistem dapat ditambahkan dengan SIS, sehingga ketika terjadi bahaya yang sudah tidak dapat ditangani BPCS, sistem masih bisa diamankan.
- b. Pencatatan data *logsheet* sebaiknya terekam secara histori pada Microsoft Excel dan jadwal *maintenance* ditambahkan dengan waktu finishing untuk memudahkan segala perhitungan yang berhubungan dengan proses *boiler*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kristianingsih, Luluk. *ANALISIS SAFETY SYSTEM DAN MANAJEMEN RISIKO PADA STEAM BOILER PLTU DI UNIT 5 PEMBANGKITAN PAITON, PT. YTL*. Surabaya: Tugas Akhir Program Sarjana Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember. 2013
- [2] Satriya,Azi.2014. Pipa Boiler PLTU Kanci Kabupaten Cirebon Meledak.<http://rri.co.id>. Diakses pada tanggal 17 Januari 2015 pukul 20.45
- [3] *Coal Fire Boiler Packaged*. American Boiler Manufactured.
- [4] IHS Engineering 360.2016. *Boiler Industrial Information*.<http://globalspec.com>. Diakses pada tanggal 18 Januari 2015 pukul 15.30
- [5] Pradana, Hari Saptian. *ANALISIS HAZARD AND OPERABILITY (HAZOP) UNTUK DETEKSI BAHAYA DAN MANAJEMEN RISIKO PADA UNIT BOILER (B-6203) DI PABRIK III PT.PETROKIMIA GRESIK*. Surabaya: Tugas Akhir Program Sarjana Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember. 2014
- [6] IEC- 61882. 2001. *Hazard And Operability Studies (Hazop Studies) – Application Guide*. Geneva: International Electrotechnical Commission .
- [7]. *Statistic Process Control*. Table of Constant for Control Chart and Formulae
- [8] Marszal, Edward. *Implementing Protective Functions In BPCS an Combined System*. Knexis Consulting Corporation. Columbus USA
- [9] Nan, Cen Kelvin. *Safety Instrumented System (SIS)*



For Process Operation Based On Real-Time Monitoring.

[10] Gulland, H.G.14 April 2004. “*Methods of Determining Safety Integrity Level (SIL) Requirements - Pros and Cons*”. 4 Sight Consulting

[11] ISA, Safety Instrumented Functions(SIF)-Safety Integrity Level (SIL) Evaluation Texhniques Determining the SIL of a SIF via Fault Tree Analysys, Research Triangle Park, North Carolina 27709: United States of America, 2002.

[12] IEC 611508/61511. 2007. *Manual Safety Integrity Level (SIL)*. Pepperl+Fuchs

LAMPIRAN A

HAZOP STUDY NODE STEAM DRUM BOILER

| NO | Component | Description | Guideword | Deviation | Cause | Consequences | Safeguard | L | C | R | Recommendation |
|----|-------------|----------------------|-----------|---------------|--|---|---|---|---|---|---|
| 1 | PT-104 | Pressure Transmitter | High | High Pressure | Jumlah batu bara dan udara pada ruang bakar berlebih | Overpressure dapat memicu terjadinya ledakan | Pressure Alarm 1401, Pressure Limiter, PSV-1401 | E | 3 | M | Kalibrasi secara berkala dan melakukan preventive maintenance |
| | | | Low | Low Pressure | Jumlah batu bara dan udara pada ruang bakar kurang | Kualitas steam tidak baik dan tidak dapat mencapai set point produksi steam yang dihasilkan | Pressure Alarm 1401 | E | 3 | M | Kalibrasi secara berkala dan melakukan preventive maintenance |
| 2 | LT-1401 | Level Transmitter | High | High Level | Air umpan yang dipompakan oleh feed water pump terlalu tinggi | Proses pemanasan air akan semakin lama dan kualitas steam yang dihasilkan basah | Level Alarm 1403, feedwater pump | E | 4 | H | Kalibrasi secara berkala dan melakukan preventive maintenance , peningkatan nilai SIL dengan menambah jumlah transmitter , penambahan SIS untuk meningkatkan keamanan |
| | | | Low | Low Level | Feed water pump kurang bekerja dengan baik | Produksi steam menjadi menurun, sistem dapat mengalami shutdown | Level Alarm 1403, feedwater pump | E | 4 | H | Kalibrasi secara berkala dan melakukan preventive maintenance , peningkatan nilai SIL dengan menambah jumlah transmitter , penambahan SIS untuk meningkatkan keamanan |
| 3 | FT-1401 | FlowTransmitter | High | High Flow | Steam valve tidak dapat menutup sesuai set point yang diinginkan | Steam yang berlebih akan mengakibatkan pipa-pipa mengalami kerusakan | Alarm | E | 3 | M | Memberi tambahan safeguard berupa safety valve |
| | | | Low | Low Flow | Kapasitas air pada boiler di bawah set point | Produksi uap menjadi menurun | Alarm | E | 3 | M | Kalibrasi secara berkala dan melakukan preventive maintenance |
| 4 | O2 Analyzer | O2 Analyzer | High | High Amount | Pembakaran tidak sempurna | Panas yang dihasilkan tidak optimal untuk menghasilkan uap | None | E | 2 | M | Kalibrasi secara berkala dan melakukan preventive maintenance |
| | | | Low | Low Amount | Pembakaran sempurna | Panas yang dihasilkan optimal | None | E | 2 | M | Kalibrasi secara berkala dan melakukan preventive maintenance |

HAZOP STUDY NODE FEED HOPPER

| NO | Component | Description | Guideword | Deviation | Cause | Consequences | Safeguard | L | C | R | Recommendation |
|----|--------------------------|--------------------------|-----------|------------|---|---|--------------|---|---|---|---|
| 1 | Coal Proximity LH Stoker | Load of Coal Transmitter | High | High Load | Suplai batu bara dari belt conveyor terlalu banyak | Tekanan meningkat karena rasio batu bara tidak terkontrol | Limit Switch | E | 3 | M | Kalibrasi secara berkala dan melakukan preventive maintenance |
| | | | Low | Low Load | Suplai batu bara dari belt conveyor terlalu sedikit | Nilai steam tidak mencapai set point | Limit Switch | E | 3 | M | Kalibrasi secara berkala dan melakukan preventive maintenance |
| 2 | Motor LH Stoker | Part of Instrument | High | High Speed | Steam pressure kurang dari set point | Untuk mencapai set point kerja gear box semakin berat | Alarm | D | 3 | M | preventive maintenance |
| | | | Low | Low Speed | Steam pressure melebihi set point | Proses pembakaran akan mengalami penurunan sehingga set point dapat kembali | Alarm | D | 3 | M | preventive maintenance |
| 3 | Motor FD-fan LH Stoker | Part of Instrument | High | High Speed | Pressure tidak mencapai set point | Beban kerja motor FD-fan semakin berat | Alarm | D | 3 | M | preventive maintenance terutama mengecek bearing pada motor |
| | | | Low | Low Speed | Pressure melebihi set point | Proses pembakaran akan mengalami penurunan sehingga set point dapat kembali | Alarm | D | 3 | M | Kalibrasi secara berkala dan melakukan preventive maintenance |

| | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|--------------------------|------|------------|---|---|--------------|---|---|---|---|
| 4 | Coal Proximity RH Stoker | Load of Coal Transmitter | High | High Load | Suplai batu bara dari belt conveyor terlalu banyak | Tekanan meningkat karena rasio batu bara tidak terkontrol | Limit Switch | E | 3 | M | Kalibrasi secara berkala dan melakukan preventive maintenance |
| | | | Low | Low Load | Suplai batu bara dari belt conveyor terlalu sedikit | Nilai steam tidak mencapai set point | Limit Switch | E | 3 | M | Kalibrasi secara berkala dan melakukan preventive maintenance |
| 5 | Motor RH Stoker | Part of Instrument | High | High Speed | Steam pressure kurang dari set point | Untuk mencapai set point kerja gear box semakin berat | Alarm | D | 3 | M | preventive maintenance |
| | | | Low | Low Speed | Steam pressure melebihi set point | Proses pembakaran akan mengalami penurunan sehingga set point dapat kembali | Alarm | D | 3 | M | preventive maintenance |
| 6 | Motor FD-fan RH Stoker | Part of Instrument | High | High Speed | Pressure tidak mencapai set point | Beban kerja motor FD-fan semakin berat | Alarm | D | 3 | M | preventive maintenance terutama mengecek bearing pada motor |
| | | | Low | Low Speed | Pressure melebihi set point | Proses pembakaran akan mengalami penurunan sehingga set point dapat kembali | Alarm | D | 3 | M | preventive maintenance |
| 7 | ID-fan | Part of Instrument | High | High Speed | Pressure tidak mencapai set point | Produksi steam tidak dapat tercapai | Alarm | D | 3 | M | preventive maintenance |
| | | | Low | Low Speed | Pressure melebihi set point | Proses pembakaran akan mengalami penurunan sehingga set point dapat kembali | Alarm | D | 3 | M | preventive maintenance |

LAMPIRAN B

PERHITUNGAN SAFETY INTEGRITY LEVEL (SIL)

| PERHITUNGAN SAFETY INTEGRITY LEVEL (SIL) | | | | | | | | | |
|--|-------------|-----------------|--------------|----------|---------------------------|-------------|-----|-------------|--------|
| Jenis | Komponen | Komponen | Failure Rate | MTTFs | Failure Rate Seri/Paralel | PFD | SIL | PFD Average | RRF |
| Transmitter | PT-1401 | PT-1401 | 0.000141403 | 7072 | Seri | 0.050904977 | 1 | 0.169745786 | 5.8912 |
| | LT-1401 | LT-1401 | 0.000142613 | 7012 | Seri | 0.051340559 | 1 | | |
| Logic Solver | DCS Siemens | DCS Siemens | 0.000143 | 0 | Seri | 0.05148 | 1 | | |
| Final Control Element (1oo2) | Aktuator | Motor LH Stoker | 0.000162851 | 6140.571 | Seri | 0.00458275 | 2 | | |
| | | FD Fan | 0.000147493 | 6780 | Seri | 0.003759104 | 2 | | |
| | | Motor RH Stoker | 0.000150602 | 6640 | Seri | 0.003919292 | 2 | | |
| | | FD Fan | 0.000147493 | 6780 | Seri | 0.003759104 | 2 | | |

PENINGKATAN NILAI SAFETY INTEGRITY LEVEL (SIL)

| PERHITUNGAN SAFETY INTEGRITY LEVEL (SIL) | | | | | | | | | |
|--|-------------|-----------------|--------------|----------|---------------------------|-------------|-----|------------|--|
| Jenis | Komponen | Komponen | Failure Rate | MTTFs | Failure Rate Seri/Paralel | PFD | SIL | RRF | |
| Transmitter | PT-1401 | PT-1401 | 0.000141403 | 7072 | Seri | 0.003455089 | 2 | 13.4282605 | |
| | LT-1401 | LT-1401 | 0.000142613 | 7012 | Seri | 0.003514471 | 2 | | |
| Logic Solver | DCS Siemens | PLC Siemens | 0.000143 | 0 | Seri | 0.05148 | 1 | | |
| Final Control Element | Aktuator | Motor LH Stoker | 0.000162851 | 6140.571 | Seri | 0.00458275 | 2 | | |
| | | FD Fan | 0.000147493 | 6780 | Seri | 0.003759104 | 2 | | |
| | | Motor RH Stoker | 0.000150602 | 6640 | Seri | 0.003919292 | 2 | | |
| | | FD Fan | 0.000147493 | 6780 | Seri | 0.003759104 | 2 | | |
| PFD AVERAGE | | | | | | 0.074469809 | | | |
| SIL | | | | | | | 1 | | |

LAMPIRAN C

D.1 Hasil Wawancara Dengan Kepala Operator *Boiler*

Wawancara dengan Bapak Muslikan Fauzi selaku ketua *boiler* berlangsung pada hari Senin, 11 Januari 2016 di ruang *CCR Boiler* PT.SMART Tbk Surabaya. Wawancara ini membahas mengenai validasi data untuk kategori *likelihood* dan *consequence*. Adapun hasil validasi data mengenai *likelihood* dan *consequence* seperti pada lampiran.

Berdasarkan *Worksheet HAZOP*, komponen yang mempunyai *high risk* adalah LT-104 yang ada pada node steam drum. Level memiliki bahaya yang lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan. Ketika level terlalu tinggi maka akan menghasilkan steam yang basah dan steam basah merupakan kualitas yang buruk, sedangkan apabila level air terlalu rendah dapat menyebabkan *boiler* mati.

Sedangkan untuk tekanan, dilengkapi dengan *PSV* sebanyak dua buah untuk mengantisipasi ketika tekanan terlalu tinggi, maka secara otomatis *PSV* akan membuka. *PSV* disetting pada tekanan 17 bar.

Dalam proses pengamanan hanya berasal dari *BPCS* dan alarm hanya berbunyi pada *DCS*. *Boiler* belum dilengkapi dengan *SIS*. Final control element berupa gerak stoker.

Mengetahui,



Bpk. Muslikan Fauzi
Kepala Operator Boiler PT SMART Tbk

VALIDASI DATA *LIKELIHOOD* DAN *CONSEQUENCE*

Tabel 1. *Consequence*

Tabel *Consequences* (The Standard Australia/ New Zealand (AS/NZS 4360:2004))

| <i>Level</i> | <i>Descriptor</i> | <i>Description</i> |
|--------------|----------------------|--|
| 1 | <i>Insignificant</i> | • Sistem beroperasi & aman, terjadi sedikit gangguan tidak berarti |
| 2 | <i>Minor</i> | • Sistem tetap beroperasi & aman, gangguan mengakibatkan sedikit penurunan performansi atau kinerja sistem terganggu |
| 3 | <i>Moderate</i> | • Sistem dapat beroperasi, kegagalan dapat mengakibatkan mesin kehilangan fungsi utamanya dan/ dapat menimbulkan kegagalan produk |
| 4 | <i>Major</i> | • Sistem tidak dapat beroperasi. Kegagalan dapat menyebabkan terjadinya banyak kerusakan fisik & sistem, dapat menimbulkan kegagalan produk, dan/ tidak memenuhi persyaratan peraturan Keselamatan Kerja |
| 5 | <i>Catastrophic</i> | • Sistem tidak layak operasi, keparahan yang sangat tinggi bila kegagalan mempengaruhi sistem yang aman, melanggar peraturan Keselamatan Kerja |

Standar di atas digunakan sebagai acuan untuk menentukan nilai *Consequence* dari beberapa *instrument* yang ada di dalam *HAZOP Worksheet* :

| No | <i>Instrument</i> | <i>Kategori Consequence</i> |
|----|--|-----------------------------|
| 1. | PT-1401 | 3 |
| 2. | LT-1401 | 4 |
| 3. | FT-1401 | 3 |
| 4. | <i>O₂ Analyzer</i> | 2 |
| 5. | <i>Coal Proximity LH dan RH Stoker</i> | 3 |

| | | |
|----|-------------------------------|---|
| 6. | <i>Motor FD-fan</i> | 3 |
| 7. | <i>Motor ID-fan</i> | 3 |
| 8. | <i>Motor LH dan RH Stoker</i> | 3 |

Tabel 2. Likelihood (Tabel Likelihood (The Standard Australia/ New Zealand (AS/NZS 4360:2004))

| <i>Level</i> | <i>Description</i> | <i>Description</i> |
|--------------|-----------------------|---|
| A | <i>Almost certain</i> | Risiko terjadi lebih dari 5 kali dalam 5 tahun |
| B | <i>Likely</i> | Risiko terjadi 4-5 kali dalam 5 tahun |
| C | <i>Moderate</i> | Risiko terjadi lebih dari 3 atau kurang dari 4 dalam 5 tahun |
| D | <i>Unlikely</i> | Risiko terjadi 2-3 kali dalam 5 tahun |
| E | <i>Rare</i> | Risiko jarang sekali muncul /terjadi kurang dari 2 kali dalam 5 tahun |

| No | <i>Instrument</i> | <i>Kategori Likelihood</i> |
|----|--|----------------------------|
| 1. | PT-1401 | E |
| 2. | LT-1401 | E |
| 3. | FT-1401 | E |
| 4. | <i>O₂ Analyzer</i> | E |
| 5. | <i>Coal Proximity LH dan RH Stoker</i> | E |
| 6. | <i>Motor FD-fan</i> | D |
| 7. | <i>Motor ID-fan</i> | D |
| 8. | <i>Motor LH dan RH Stoker</i> | D |

Berdasarkan wawancara dengan operator boiler, dapat dikatakan valid untuk data klasifikasi *likelihood* dan *consequence* yang digunakan untuk Tugas Akhir dengan judul “Hazard and Operability Study (HAZOP) dan Penentuan *Safety Integrity Level (SIL)* pada *Boiler SB-02* di PT.SMART Tbk Surabaya” oleh Trisca Vimalasari dengan NRP.2412100011.

LAMPIRAN D DATA MAINTENANCE

Data Maintenance PT-1401

| | | | |
|---------------------|---|----------------------|----------------------------|
| Equipment Tag No | : | PT-1401 | Equipment Location : SB-02 |
| Service Description | : | Pressure Transmitter | |
| Job Description | : | Maintenance | |

| No | Start | Completion | TTF | | MTTF (hour) | Aktivitas | Parameter |
|----|-----------|------------|-----|-------|-------------|-------------------------------|-------------|
| | | | Day | Hour | | | λ |
| 1 | | 8-Sep-10 | 0 | 0 | 7072 | | 0.000141403 |
| 2 | 8-Jun-11 | 10-Jun-11 | 273 | 6552 | | Pembersihan ujung dari sensor | |
| 3 | 16-Aug-12 | 23-Aug-12 | 433 | 10392 | | Kalibrasi tahunan | |
| 4 | 7-Aug-13 | 14-Aug-13 | 349 | 8376 | | Kalibrasi tahunan | |
| 5 | 2-Aug-14 | 9-Aug-14 | 353 | 8472 | | Kalibrasi tahunan | |
| 6 | 4-Aug-15 | 15-Aug-15 | 360 | 8640 | | Kalibrasi Tahunan | |

Data Maintenance LT-1401

| | | | |
|---------------------|---|-------------------|----------------------------|
| Equipment Tag No | : | LT-1401 | Equipment Location : SB-02 |
| Service Description | : | Level Transmitter | |
| Job Description | : | Maintenance | |

| No | Start | Completion | TTF | | MTTF (hour) | Aktivitas | Parameter |
|----|-----------|------------|-----|------|-------------|--------------------------------------|-------------|
| | | | Day | Hour | | | λ |
| 1 | | 10-Sep-10 | 0 | 0 | 7012 | | 0.000142613 |
| 2 | 25-Aug-11 | 27-Aug-11 | 349 | 8376 | | Pembersihan ujung elektrode NRG 26-1 | |
| 3 | 6-Aug-12 | 11-Aug-12 | 345 | 8280 | | Pembersihan ujung elektrode NRG 26-1 | |
| 4 | 3-Aug-13 | 10-Aug-13 | 357 | 8568 | | Kalibrasi Tahunan | |
| 5 | 25-Jul-14 | 2-Aug-14 | 349 | 8376 | | Kalibrasi Tahunan | |
| 6 | 21-Jul-15 | 25-Jul-15 | 353 | 8472 | | Kalibrasi Tahunan | |

Data Maintenance Motor LH Stoker

Equipment Tag No : Motor LH Stoker
 Service Description : Stoker/Burner
 Job Description : Maintenance

| | Start | Completion | TTF | | MTTF (hour) | Aktivitas | Parameter |
|---|-----------|------------|-----|-------|-------------|---|-------------|
| | | | Day | Hour | | | λ |
| 1 | | 13-Sep-10 | 0 | 0 | 6140.571429 | | 0.000162851 |
| 2 | 13-Sep-10 | 20-Sep-10 | 0 | 0 | | Bongkar rotor LH stoker untuk dibalik | |
| 3 | 8-Jun-11 | 17-Jun-11 | 261 | 6264 | | Membersihkan baling-baling motor dan | |
| 4 | 10-Aug-12 | 22-Sep-12 | 420 | 10080 | | Penggantian rantai baru untuk penggerak | |
| 5 | 7-Aug-13 | 15-Aug-13 | 319 | 7656 | | Membersihkan baling-baling motor dan | |
| 6 | 20-May-14 | 27-May-14 | 278 | 6672 | | Pengecekan dan pembersihan area motor | |
| 7 | 22-Oct-15 | 23-Nov-15 | 513 | 12312 | | Service | |

Data Maintenance Motor RH Stoker

Equipment Tag No : Motor RH Stoker
 Service Description : Stoker/Burner
 Job Description : Maintenance

Equipment Location : SB-02

| No | Start | Completion | TTF | | MTTF (hour) | Aktivitas | Parameter |
|----|-----------|------------|-----|-------|-------------|---|-------------|
| | | | Day | Hour | | | λ |
| 1 | | 16-Sep-10 | 0 | 0 | 6640 | | 0.000150602 |
| 2 | 8-Jun-11 | 10-Jun-11 | 265 | 6360 | | Membersihkan baling-baling motor dan | |
| 3 | 11-Aug-12 | 25-Sep-12 | 428 | 10272 | | Penggantian rantai baru untuk penggerak | |
| 5 | 8-Aug-13 | 15-Aug-13 | 317 | 7608 | | Penggantian kedua sprocket rantai | |
| 6 | 20-May-14 | 20-Jun-14 | 278 | 6672 | | Service | |
| 7 | 27-Jun-15 | 4-Jul-15 | 372 | 8928 | | gecekan dan pembersihan area motor stoker | |

Data Maintenance Motor FD Fan

Equipment Tag No : Motor FD Fan

Equipment Location : SB-02

Service Description : FD Fan

Job Description : Maintenance

| No | Start | Completion | TTF | | MTTF (hour) | Aktivitas | Parameter |
|----|-----------|------------|-----|-------|-------------|--|-------------|
| | | | Day | Hour | | | λ |
| 1 | | 13-Sep-10 | 0 | 0 | 5756.571429 | | 0.000173715 |
| 2 | 3-Jun-11 | 10-Jun-11 | 263 | 6312 | | Memberi grease pada bearing motor | |
| 3 | 25-Aug-11 | 1-Aug-11 | 76 | 1824 | | Membersihkan baling-baling motor dan | |
| 4 | 23-Feb-12 | 25-Feb-12 | 206 | 4944 | | Penggantian FD Fan baru (dengan MCB-nya) | |
| 5 | 6-Aug-13 | 13-Aug-13 | 528 | 12672 | | Mencuci dengan lap basah baling-baling | |
| 6 | 7-Apr-14 | 15-Apr-14 | 237 | 5688 | | Pengecekan dan pembersihan area motor FD | |
| 7 | 19-Apr-15 | 17-May-15 | 369 | 8856 | | Service | |

BIODATA PENULIS



Penulis mempunyai nama lengkap Trisca Vimalasari, lahir di Gresik pada tanggal 01 Juni 1994. Putri pertama dari Bapak Sutrisno Subandi dan Ibu Musyamah Kalsum. Mempunyai satu orang adik laki-laki yang bernama Moch. Ridwan Nuur. Alamat asal berada di Perumahan Giri Asri Blok O/13 RT 02 RW 02 Gresik. Penulis melewati seluruh masa kecilnya di Kota Gresik hingga duduk di bangku

SMA Penulis menempuh pendidikan dasar di SD Semen Greik, kemudian melanjutkan pendidikan menengah di SMP Negeri 1 Gresik. Penulis melanjutkan studi di SMA Negeri 1 Gresik untuk tingkat SMA. Pada tahun 2012 diterima di program studi S-1 Jurusan Teknik Fisika ITS Surabaya melalui jalur undangan dengan NRP 2412 100 011. Selama berada di bangku perkuliahan, penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika (HMTF) ITS selama dua periode kepengurusan sebagai staff dan wakadept External Affair dan juga aktif sebagai asisten Laboratorium Pengukuran Fisis Teknik Fisika. Pada bulan Januari 2016 penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“HAZARD AND OPERABILITY STUDY (HAZOP) DAN PENENTUAN SAFETY INTEGRITY LEVEL (SIL) PADA BOILERSB-02 PT.SMART Tbk SURABAYA”**. Bagi pembaca yang memiliki saran, kritik, dan atau ingin berdiskusi lebih lanjut tentang tugas akhir ini bias menghubungi penulis melalui vimalasaritrisca@gmail.com.